

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

## **Bezpístnicové pneumatické motory**

## **Rodless Pneumatics Actuators**

Student:

René Kalocsai

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Kamil Fojtášek, Ph.D.

Ostrava 2015

## Zadání bakalářské práce

Student: **René Kalocsai**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení  
Téma: **Bezpečnostní pneumatické motory**  
**Rodless Pneumatic Actuators**

Zásady pro vypracování:

- 1) Popište funkci a konstrukci pneumatických bezpečnostních motorů.
- 2) Uveďte možné aplikace bezpečnostních motorů.
- 3) Proveďte rozbor návrhu bezpečnostních motorů a uveďte přehled výpočetních programů.
- 4) Pro vybraný případ navrhnete bezpečnostní motor.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy DÍL I. - Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2005 (Skriptum). 265 s. ISBN 80-248-0879-X.  
KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.  
BEATER, P. *Pneumatic drives: system design, modelling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323 pp. ISBN 978-3-540-69470-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Kamil Fojtášek, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



doc. Dr. Ing. Lumír Hružík  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18. 5. 2015

  
.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce.
- souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 18. 5. 2015



.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

René Kalocsai

Adresa trvalého pobytu autora práce:

ČSL. Armády, Karviná, 733 01

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

KALOCSAI, R. *Bezpečnostní pneumatické motory: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2015, 52 s., Vedoucí práce: Fojtášek, K.

Bakalářská práce se zabývá pneumatickými bezpečnostními motory. Úvodní část práce obsahuje základní informace, rozdělení a oblasti použití pneumatických motorů. Práce je především zaměřena na tři základní druhy bezpečnostních motorů. U každého z nich je podrobně popsána konstrukce, funkce a jejich vlastnosti. Jsou zde uvedeny i ukázky možných aplikací, doloženy vhodnými obrázky. Dále se práce zabývá návrhem bezpečnostního motoru pro konkrétní případ třídícího systému pásového dopravníku. V závěru práce je proveden rozbor jednotlivých výpočetních softwarů, zabývajících se touto problematikou.

## **ANNOTATION OF BACHELOR'S THESIS**

KALOCSAI, R. *Rodless Pneumatics Actuators: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipment, 2015, 52 p., Thesis head: Fojtášek, K.

Bachelor thesis deals with pneumatic rodless actuators. In the opening part of the thesis there are basic information, distribution and field of application of the pneumatic actuators. Work is mainly focused on three basic types of rodless actuators. Construction, function and its properties are described in detail for each type of actuator. In this work there are examples of possible applications supplemented by appropriate images. The thesis describes the design of rodless actuator for a particular case of the sorting at belt conveyor. In the conclusion there is an analysis of individual computing software dealing with this issue.

### **Poděkování:**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Kamilu Fojtáškoví, Ph.D. za odborné vedení, konzultace a podnětné připomínky, které mi byly poskytnuty v průběhu tvorby bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat svým nejbližším za podporu při studiu.

# Obsah

Seznam použitých značek a symbolů .....	9
1 Úvod .....	10
2 Pneumatické motory .....	11
2.1 Rozdělení pneumatických motorů.....	11
2.2 Oblasti použití pneumatických motorů .....	12
3 Pneumatické válce .....	12
3.1 Vlastnosti pneumatických válců .....	12
3.2 Rozdělení pneumatických válců .....	13
4 Pneumatické bezpístnicové motory .....	14
4.1 Motor s nosnou přírubou.....	15
4.1.1 Konstrukce motoru s nosnou přírubou.....	15
4.1.2 Varianty vedení.....	16
4.1.3 Funkce motoru s nosnou přírubou .....	17
4.1.4 Vlastnosti motorů s nosnou přírubou.....	18
4.1.5 Způsob zapojení motorů s nosnou přírubou .....	18
4.1.6 Příslušenství motorů s nosnou přírubou.....	18
4.1.7 Aplikace motorů s nosnou přírubou.....	19
4.2 Motor s tažným kabelem nebo pásem.....	22
4.2.1 Konstrukce motoru s tažným kabelem nebo pásem.....	22
4.2.2 Funkce motoru s tažným kabelem nebo pásem .....	23
4.2.3 Vlastnosti motorů s tažným kabelem nebo pásem.....	23
4.2.4 Způsoby řízení motorů s tažným kabelem nebo pásem.....	24
4.2.5 Aplikace motorů s tažným kabelem nebo pásem.....	24
4.3 Motory s magnetickým přenosem síly .....	26
4.3.1 Konstrukce motoru s magnetickým přenosem síly.....	26
4.3.2 Funkce motoru s magnetickou (elektromagnetickou) spojkou.....	28

4.3.3	Vlastnosti motorů s magnetickou spojkou.....	28
4.3.4	Příslušenství motorů s magnetickým přenosem síly.....	28
4.3.5	Aplikace motorů s magnetickým přenosem síly.....	29
5	Tlumení kinetické energie .....	30
5.1	Vnitřní tlumení koncových poloh .....	30
5.1.1	Konstrukce vnitřního pneumatického tlumení.....	30
5.1.2	Funkce pneumatického tlumení .....	30
5.2	Vnější tlumení koncových poloh .....	32
5.2.1	Konstrukce hydraulických tlumičů koncových poloh .....	32
5.2.2	Funkce a princip činnosti tlumiče nárazů YSR-C .....	33
6	Těsnění.....	34
6.1	Těsnění pístů pneumatických bezpístnicových motorů .....	34
7	Snímání polohy .....	35
8	Návrh a výpočet bezpístnicového motoru .....	36
9	Přehled výpočetních programů .....	43
9.1	Rozbor výpočetních programů.....	44
9.1.1	GSED .....	44
9.1.2	Pneumatic model selection program.....	46
9.1.3	Aventics .....	47
10	Závěr .....	48
11	Seznam použité literatury .....	50



## Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Název veličiny	Jednotka
$F$	Síla	[N]
$F_I$	Třecí síla krabice	[N]
$F_E$	Ekvivalentní zatížení při nárazu	[N]
$F_{pC}$	Celková potřebná síla motoru	[N]
$F_{pK}$	Síla potřebná k rozpořybování krabice	[N]
$F_{pL}$	Síla potřebná k rozpořybování lopatky	[N]
$F_{tK}$	Třecí síla krabice	[N]
$F_{tV}$	Třecí síla lopatky	[N]
$L_I$	Délka ramene	[m]
$M_I$	Statický moment	[N.m]
$M_{I\ MAX}$	Maximální statický moment	[N.m]
$M_E$	Dynamický moment	[N.m]
$M_{E\ MAX}$	Maximální dynamický moment	[N.m]
$S$	Plocha	[m <sup>2</sup> ]
$d$	Průměr pístu	[m]
$f_K$	Součinitel tření krabice	[-]
$f_V$	Součinitel tření vedení	[-]
$g$	Tíhové zrychlení	[m.s <sup>-2</sup> ]
$m_{2\ MAX}$	Maximální hmotnost břemene	[m]
$m_K$	Hmotnost krabice	[kg]
$m_L$	Hmotnost lopatky	[kg]
$p$	Tlak	[Pa]
$s$	Dráha posuvu	[m]
$t$	Doba polohování	[s]
$\delta$	Koeficient tlumení	[-]
$\pi$	Ludolfovo číslo	[-]
$\Sigma\alpha$	Faktor zatížení	[-]
$v_a$	Průměrná rychlost	[mm.s <sup>-1</sup> ]

# 1 Úvod

Pneumatické mechanismy využívají jako pracovní médium stlačený vzduch. Právě čistota pracovního média je hlavním důvodem, proč jsou pneumatické mechanismy nezastupitelné v mnoha oblastech lidské činnosti. Nejčastější využití nalezneme v potravinářském, farmaceutickém a textilním průmyslu nebo na místech s nebezpečím výbuchu.

Tématem této bakalářské práce jsou bezpečnostní pneumatické motory. Jejich konstrukční provedení využíváme na místech, kde jsou požadovány vysoké zdvihy v omezeném prostoru. Možnost vysokých zdvihů zapříčiňuje fakt, že neobsahují pístní tyč. Z toho důvodu nemusí bezpečnostní motory procházet kontrolou na vzpěr. V porovnání s klasickými konvenčními motory zabírají až o 50 % méně místa při stejném zdvihu motoru. Další z předností bezpečnostních motorů je symetričnost konstrukce, z čehož vyplývá, že působící síly na obou stranách pístu jsou totožné.

Cílem bakalářské práce je popis konstrukčního řešení jednotlivých typů bezpečnostních motorů, princip činnosti a jejich možné aplikace v praxi. Dále pro konkrétní případ třídícího systému pásového dopravníku navrhnout vhodný bezpečnostní motor. Na závěr zhotovit přehled jednotlivých výpočetních softwarů zabývajících se touto problematikou a provést jejich rozbor.

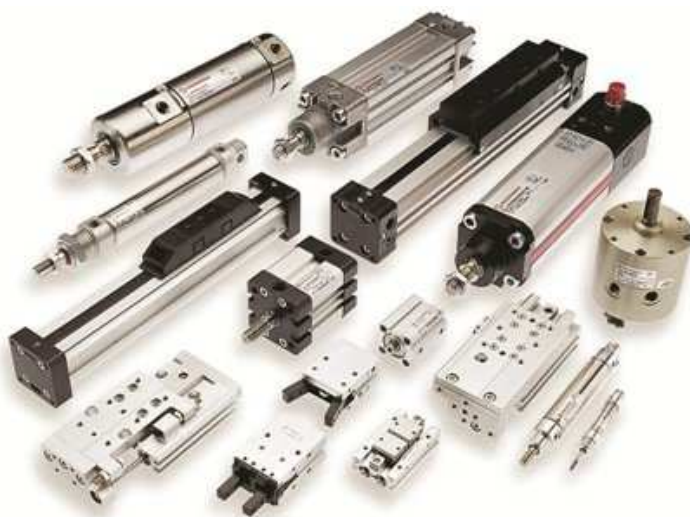
## 2 Pneumatické motory

Z hlediska přenosu energie jsou pneumatické motory výstupním prvkem pneumatického obvodu. Pro transformaci energie a přenos informace mezi hnacím a hnaným členem využívají vzdušiny, především však stlačeného vzduchu [3]. Vstupními kanály se do pracovního prostoru přivádí vzdušina s potřebným průtokem a tlakem. Přivedená energie se ze sloupce vzdušiny přenáší na tuhé části pneumomotoru. V případě rotačního motoru je energie přenášena pomocí pístu nebo lamely na výstupní člen, zvaný hřídel. Výstupními veličinami jsou tedy otáčky a moment. Jedná-li se o motor přímočarý, za tuhou část považujeme píst, membránu či měch, výstupními veličinami jsou pak síla a rychlost. Pneumatické motory se vyznačují především velkou konstrukční rozmanitostí, s ohledem na daný druh použití. Práci těchto mechanismů můžeme realizovat pomocí různých druhů pohybů.

### 2.1 Rozdělení pneumatických motorů

Pneumatické motory (obr. 2.1) dělíme dle druhu vykonávaného pohybu:

- lineární pohyb (pneumatické válce, membránové motory, měchové motory),
- kyvný pohyb (pohony s ozubeným pastorkem a hřebenem, křídlové motory),
- rotační pohyb (pístové motory, lamelové motory, zubové motory) [3].



Obr. 2.1 Pneumatické motory [8]

## 2.2 Oblasti použití pneumatických motorů

Díky čistotě pracovního média (stlačeného vzduchu), je pneumatická technika nezastupitelná v mnoha oblastech lidské činnosti.

- potravinářství,
- textilní a papírenský průmysl,
- zdravotnictví,
- zemědělství,
- těžební průmysl (nebezpečí výbuchu),
- balící stroje [18].

## 3 Pneumatické válce

Nejběžnějším pracovním prvkem pneumatických mechanismů jsou bezesporu pneumatické válce, vykonávající přímočarý pohyb. Řadíme je do skupiny pneumostatických mechanismů, využívajících tlakovou statickou energii. Pneumatické válce tvoří téměř 35 % celého vyráběného sortimentu pneumatických mechanismů. Válce patří do kategorie objemových strojů, z toho vyplývá, že tlaková energie stlačeného vzduchu vyrobená v kompresoru se v nich transformuje na mechanickou práci. „Vyráběný sortiment se soustřeďuje do typových a normalizovaných řad s odstupňovaným průměrem a zdvihem“ [2].

Rozlišujeme dva druhy provedení pneumatických válců a to válce jednočinné a dvojčinné. U jednočinných válců pracovní médium, čímž je v případě pneumatické techniky stlačený vzduch, působí pouze na jednu stranu pístu, z čehož vyplývá, že práce je vykonávána pouze v jednom směru pohybu. Zpětný pohyb pak vykonává vnější síla nebo síla pružiny. U dvojčinných válců lze působit na píst střídavě. Je tedy možné, regulovat rychlost pístu v obou směrech.

### 3.1 Vlastnosti pneumatických válců

Vlastnosti těchto mechanismů jsou úzce spojeny s podmíněnými vlastnostmi nositele energie, na kterých závisí jejich výhody a nevýhody.

Hlavní předností pneumatických válců je jejich jednoduchá konstrukce, poměrně snadná výroba a vysoká funkční spolehlivost. Pracovní tlak ve válci je nízký, běžná hodnota pracovního tlaku je  $0,6 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ , to je důvod, proč nejsou kladeny vysoké nároky na

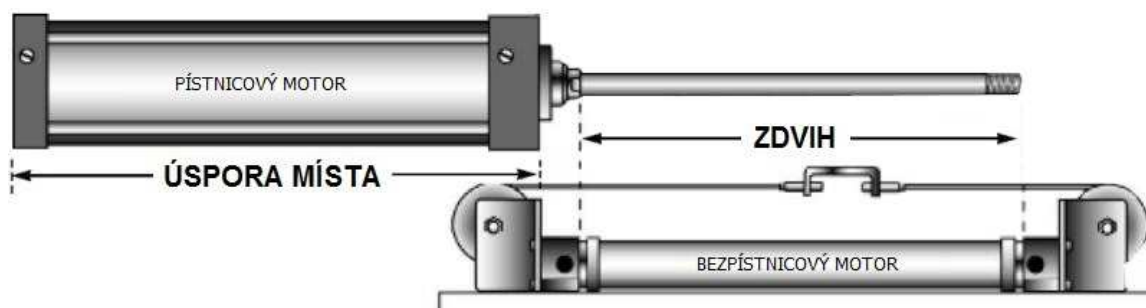
těsnící prvky a pevnost použitých materiálů. Další z předností je možnost dosahovat vysokých zdvihových rychlostí oproti jiným druhům pohonů, a to až  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Obecně se pneumatické pohony pyšní vysokou ochranou proti přetížení. Ani při úplném zastavení válce nedojde k jeho poškození a v případě centrálního rozvodu vzdušiny se vše obejde i bez energetických ztrát.

Velkou nevýhodou pneumatických systémů je především jejich malá celková účinnost  $\eta_P \approx 0,12\text{--}0,25$ , což je v porovnání např. se systémy hydraulickými  $\eta_H \approx 0,56\text{--}0,74$ , elektrickými  $\eta_E \approx 0,80\text{--}0,92$  velice málo [1]. Dále v porovnání s hydraulickými válci je obtížné přesně regulovat rychlost a nastavit přesnou polohu vysunutí mezi dvěma koncovými polohami. To je způsobeno typem pracovního média (vzdušinou), která systému nezaručuje takovou tuhost, jako v případě hydraulických mechanismů (kapalina). Neopomeňme ani ekonomické náklady na výrobu stlačeného vzduchu. Výroba  $1 \text{ m}^3$  stlačeného vzduchu vychází přibližně na  $0,3 \text{ Kč}$  [7], to je důvod, proč stlačený vzduch řadíme mezi jedny z nejdražších energií.

### 3.2 Rozdělení pneumatických válců

Podle konstrukčního provedení (obr. 3.1), lze pneumatické válce rozdělit na:

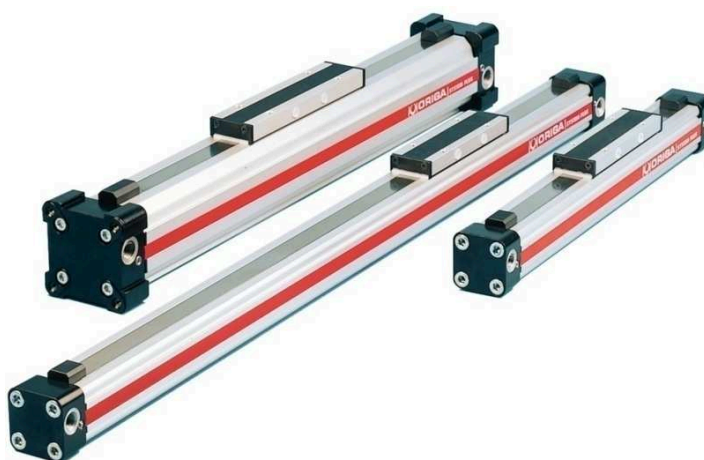
- motory s pístní tyčí,
- motory bez pístní tyče.



Obr. 3.1 Prostorové porovnání pneumatických motorů [17]

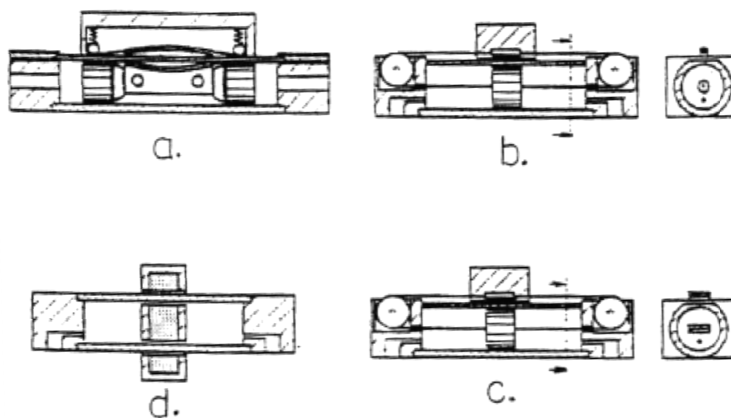
## 4 Pneumatické bezpečnostní motory

Tyto druhy pneumatických motorů (obr. 4.1) jsou někdy označovány jako motory se speciální konstrukcí. Poskytují stejný tah, jako konvenční motory obsahující pístní tyč s přibližně 50 % úsporou místa. Existují tři základní provedení, pro které platí stejné, již výše zmiňované vlastnosti pneumatických válců. Řadíme je do kategorie dvojčinných pohonů. Všechny druhy provedení jsou symetrické, což vede k faktu, že síly jsou v obou směrech identické. Jejich konstrukce se využívá na místech, kde se požadují velké zdvihy v omezeném prostoru. Možnost vysokých zdvihů je zapříčiněná tím, že ani jedna z konstrukcí nezahrnuje pístní tyč, která musí projít kontrolou na vzpěr.



Obr. 4.1 Pneumatické bezpečnostní motory [19]

Kinetická energie pohybujícího se pístu je přenášena na unášecí prvek, prostřednictvím různých přenosových prvků, viz (obr. 4.2).



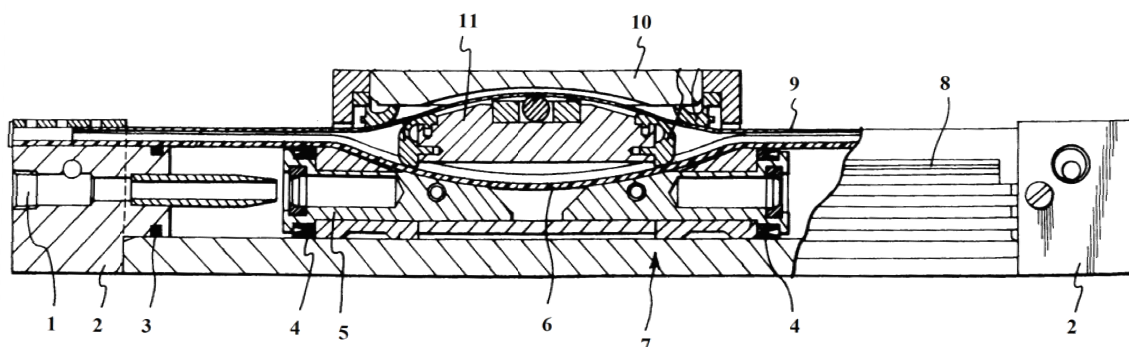
Obr. 4.2 Typy přenosových prvků pneumatických bezpečnostních motorů [2]

## 4.1 Motor s nosnou přírubou

Nejpoužívanější a osvědčenou konstrukcí bezpečnostních motorů je varianta využívající tzv. spojovacího můstku (obr. 4.3), kterou řadíme mezi motory s mechanickou spojkou. Mnoho ze světových výrobců upřednostňuje právě tento druh provedení, pro možnost rozmanitého příslušenství. Motory se vyrábí v mnoha typových řadách a velikostech. Směr pohybu unášecí se shoduje se směrem pohybu pístu.

### 4.1.1 Konstrukce motoru s nosnou přírubou

Pneumatický bezpečnostní motor s nosnou přírubou se skládá ze vstupního portu (1), předního a zadního víka (2), těsnícího kroužku víka (3), těsnící manžety pístu (4), pístu (5), těsnícího pásu (6), tělesa válce (7), drážek pro snímače polohy (8), krycího pásu (9), unášecího prvku (10) a spojovacího můstku (11).



Obr. 4.3 Bezpečnostní motor s nosnou přírubou [20]

Přední i zadní víka motoru se nejčastěji vyrábí odléváním ze slitin hliníku nebo temperované litiny. K tělesu motoru jsou přišroubovány.

Těleso motoru je tvořeno profilovou bezešvou trubkou, vyráběnou z hliníku nebo jeho slitin. Funkční plochy jsou pro snížení tření a opotřebení elektrochemicky vytvrzovány a leštěny. Drážky na vnější straně tělesa slouží jako držák snímačů polohy, viz (obr. 4.5).

Píst může být z oceli nebo eloxovaného hliníku. Mnohdy bývá opatřen magnetickými kroužky, které slouží k bezkontaktnímu snímání polohy. Na každé straně pístu se nachází těsnící manžety, sloužící k utěsnění pracovního prostoru. V ose pístu jsou umístěna válcová zhloubení, umožňující tlumení v koncových polohách.

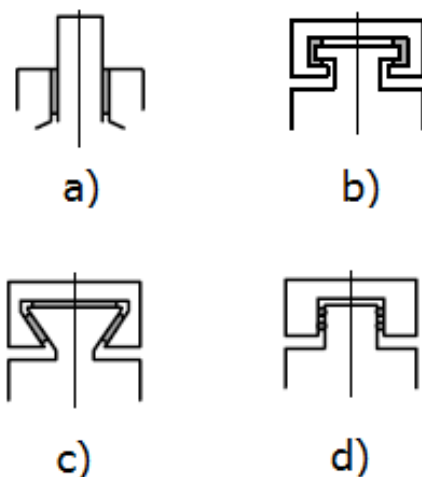
Motor je dále vybaven dvěma pásy, viz (obr. 4.6). Krycí pásek se obvykle vyrábí z nerezové oceli o tloušťce 0,2 mm. Zabraňuje vniknutí vnějších nečistot do pracovního

prostoru pístu, kde by mohlo dojít k abrazivnímu poškození funkčních ploch. Na výrobu těsnícího pásu se používá guma nebo plast, nejčastěji však polyuretan. Těsnící pásek zabraňuje úniku vzduchu.

Unášecí prvek i spojovací můstek se vyrábějí především z hliníku. Požadavkem obou prvků je co nejmenší hmotnost.

#### 4.1.2 Varianty vedení

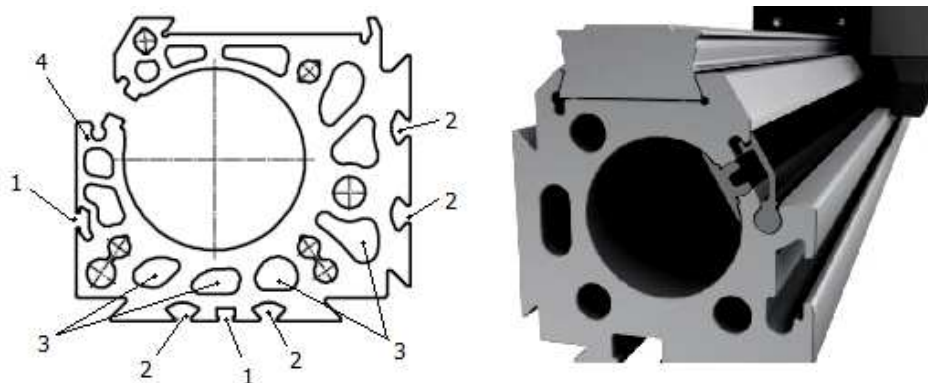
Vedení unášecího prvku je k dostání v mnoha konstrukčních provedeních, s ohledem na daný druh použití. Společnost Festo s.r.o. poskytuje vedení uvedené na (obr. 4.4).



Obr. 4.4 Varianty vedení bezpístnicových motorů firmy Festo řady DGC [11]  
*kompaktní provedení (a), základní provedení (b), kluzné vedení (c), vedení v kuličkových oběžných  
pouzdrech (d)*

Tělesa bezpístnicových motorů (obr. 4.5) lze vyrábět v mnoha variantách. Bezpístnicové motory s větším průměrem pístu obsahují větší počet odlehčovacích otvorů, z důvodů snížení výsledné hmotnosti motoru.

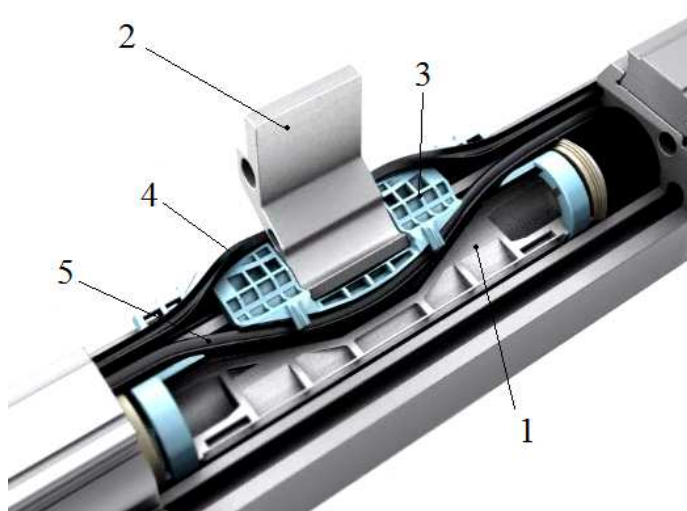




Obr. 4.5 Řez tělesem bezpístnicového motoru s nosnou přírubou [11], [21]  
*drážky pro čidla (1), upevňovací drážka pro kameny (2), odlehčovací otvory (3),  
 těleso motoru (4)*

#### 4.1.3 Funkce motoru s nosnou přírubou

Vstupními kanály ve víku přivádíme do pracovního prostoru pístu stlačený vzduch. Tlaková energie pracovního média začne působit na čelní stranu pístu, čímž dojde k jeho rozpohybování. Přenos pohybu pístu na vnější unášecí prvek je realizován pomocí spojovacího můstku, který svým tvarem zapadá jak do pístu, tak do unášče. Vše utěsňuje dva pásy umístěné v drážce tělesa motoru. Při pohybu pístu dochází z jedné strany k otevírání a z druhé strany k uzavírání prostoru mezi páskami. Prostor vyplňuje spojovací můstek, který plní funkci tzv. zipu, viz (obr. 4.6).



Obr. 4.6 Řez přenosovou částí motoru [21]  
*píst (1), unášecí prvek (2), spojovací můstek (3), krycí pásek (4), těsnící pásek (5)*

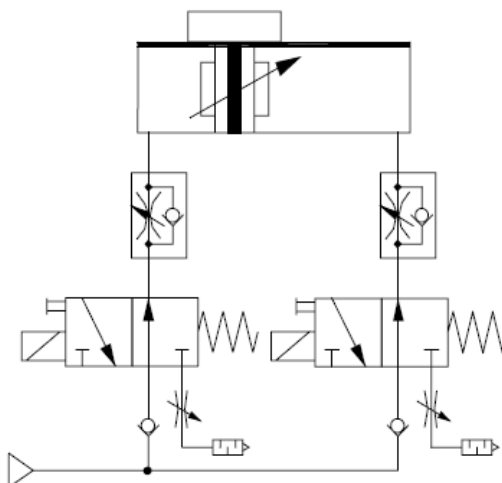
#### 4.1.4 Vlastnosti motorů s nosnou přírubou

Tento druh bezpečnostních motorů se vyznačuje především schopností zachytit velké síly a zajistit hladký a bezúdržbový provoz. Nabízí také možnost použití ve všech osách souřadnicového systému.

Nevýhodou je, že nezaručuje úplnou těsnost, proto nejsou používány ve velmi čistých provozech. Další z problémů může nastat při manipulaci s těžkými předměty, jelikož není možno uskutečnit přerušení spojení, mezi pístem a unášecím prvkem.

#### 4.1.5 Způsob zapojení motorů s nosnou přírubou

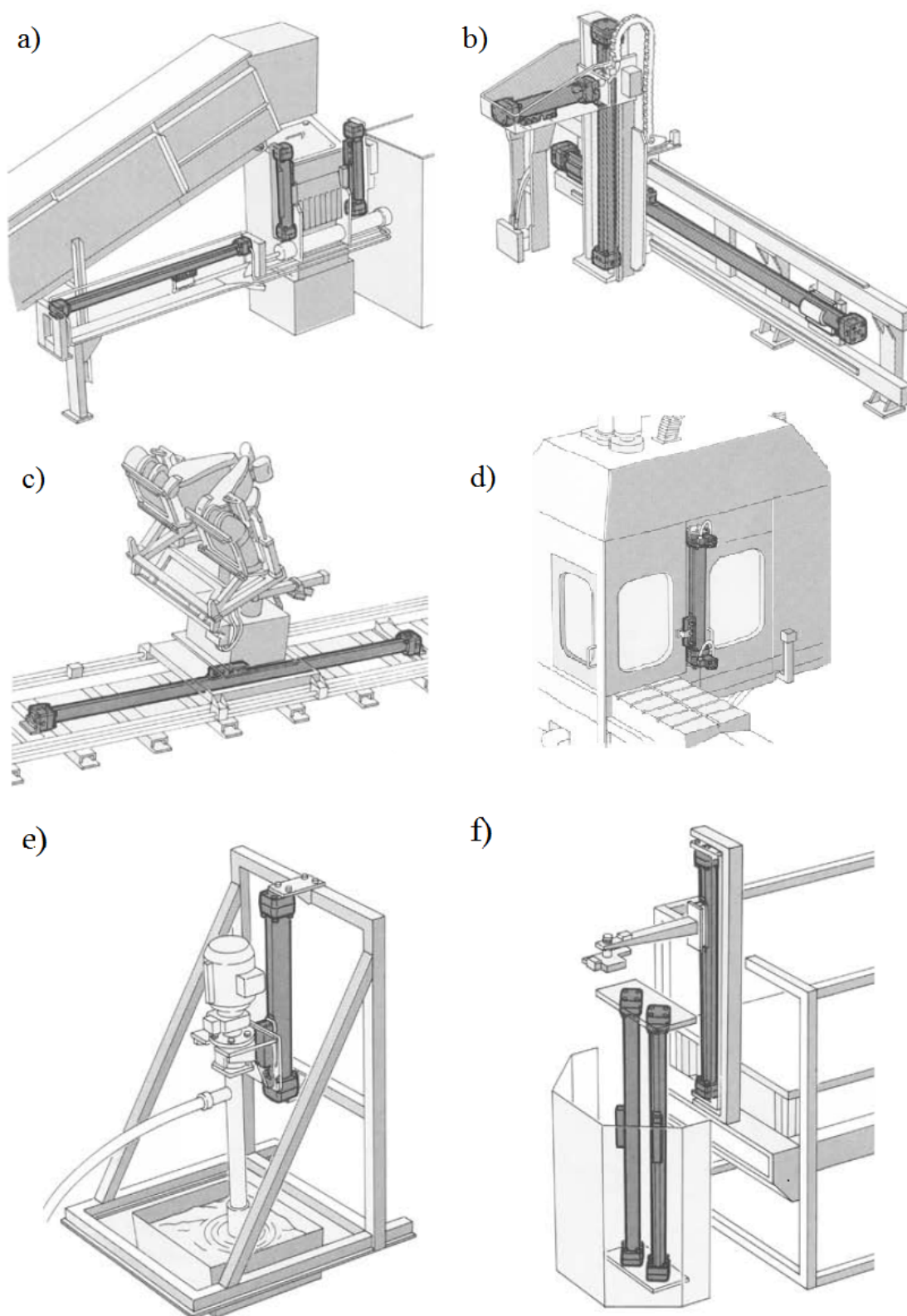
Při používání bezpečnostních motorů, tohoto konstrukčního provedení, se doporučuje využívat metody zvané jako negativní kontrola [4]. Metoda spočívá v tom, že obě komory jsou pod neustálým tlakem a k pohybu pístu dochází až ve chvíli, kdy jednu z komor odvzdušníme, viz (obr. 4.7). Tento obvod nám zaručuje dostatečný zpětný tlak a tím omezuje zrychlení a rychlost pístu. V opačném případě by u velmi dlouhých motorů mohlo dojít k dosažení příliš velké rychlosti pístu a vlivem nárazu v koncové poloze k jeho poškození.



Obr. 4.7 Schéma řízení metodou negativní kontrola [4]

#### 4.1.6 Příslušenství motorů s nosnou přírubou

Každý z výrobců ke svým produktům dodává i širokou škálu příslušenství, mezi které řadíme upevňovací prvky, snímače polohy, hydraulické tlumiče kinetické energie, nastavitelné dorazy koncových poloh a jiné.

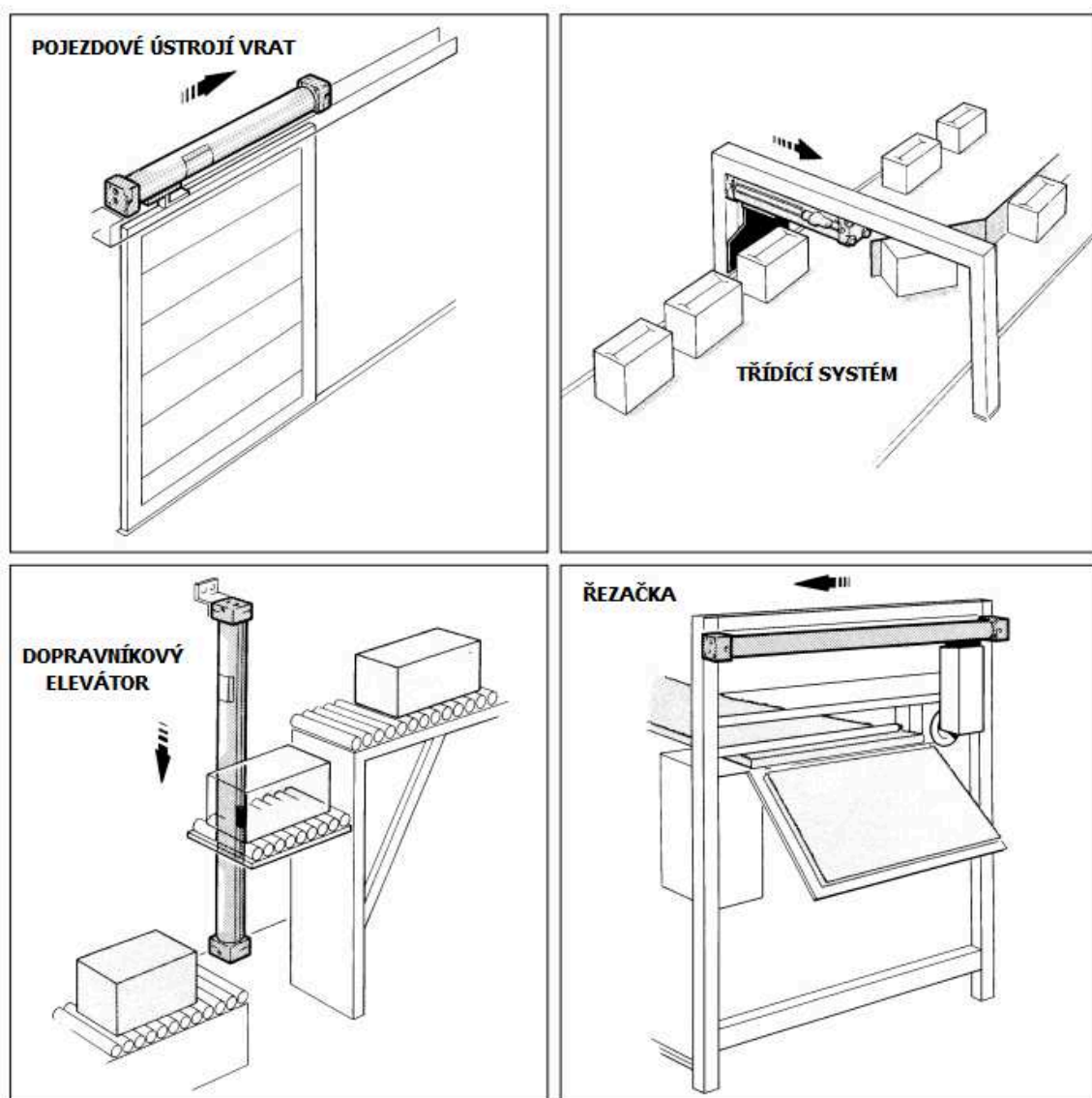
**4.1.7 Aplikace motorů s nosnou přírubou**

Obr. 4.8 Příklady aplikací motorů s nosnou přírubou [10]

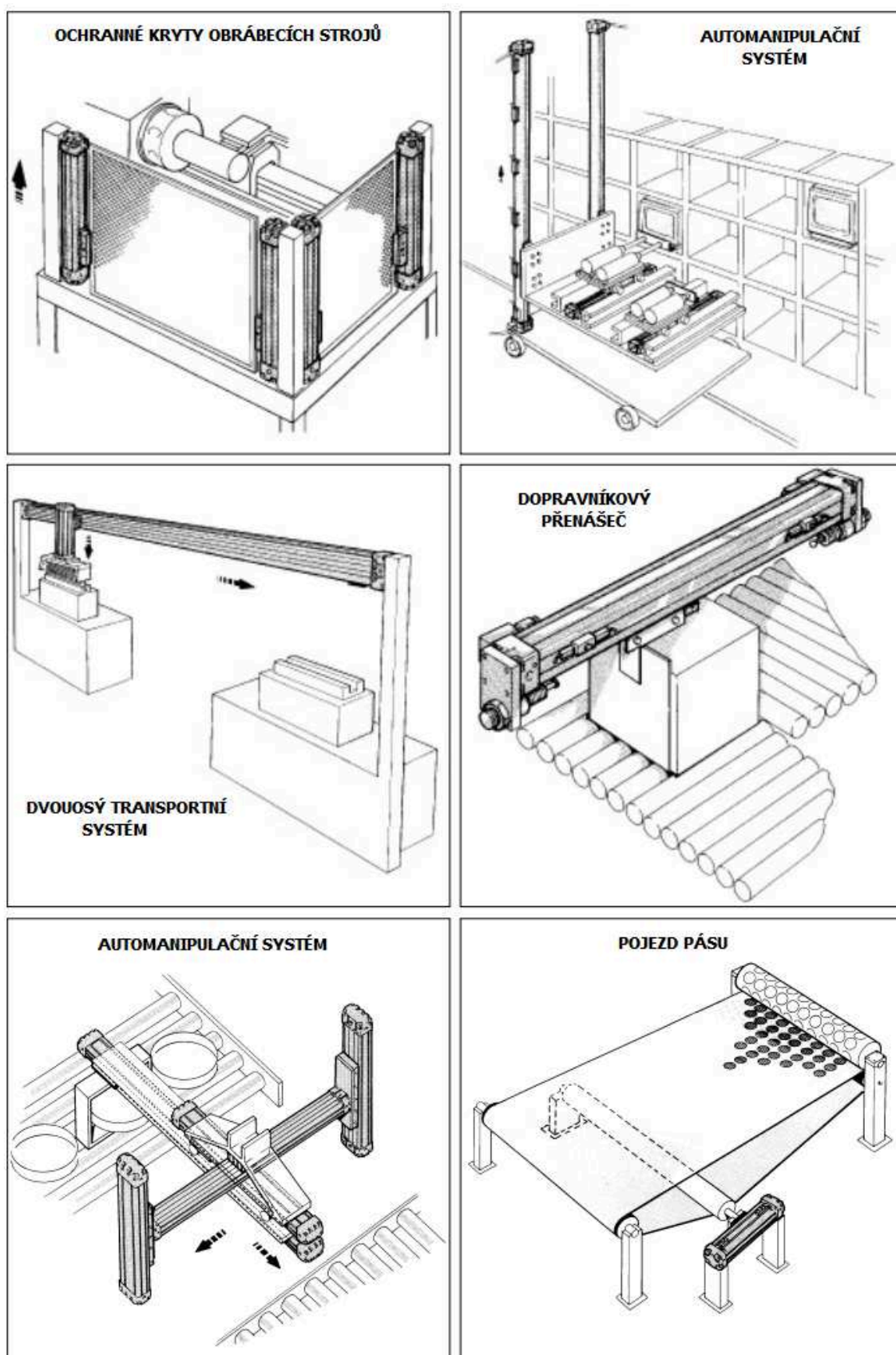
K realizaci přímočarého pohybu těles s velkou úsporou místa nebo pro dopravu na velké vzdálenosti se osvědčily bezpečnostní pneumatické motory. Možnost jejich aplikace je různá.

Například na (obr. 4.8d) můžeme vidět vertikální závoru tryskací komory, jejíž ovládání je realizováno, právě pomocí tohoto druhu bezpečnostního motoru. Před zahájením pískovacího procesu dojde ke spuštění závory, z důvodu zamezení šíření abraziva do prostoru výrobní haly. Pneumatické bezpečnostní motory lze využít i pro řízení polohy sacího hrdla v nádrži (obr. 4.8e). Jednou z častých aplikací je i vytvoření více osového transportního systému (obr. 4.8b).

Další varianty použití bezpečnostních motorů s nosnou přírubou vyobrazují (obr. 4.9 a obr. 4.10).



Obr. 4.9 Aplikace motorů s nosnou přírubou [14]



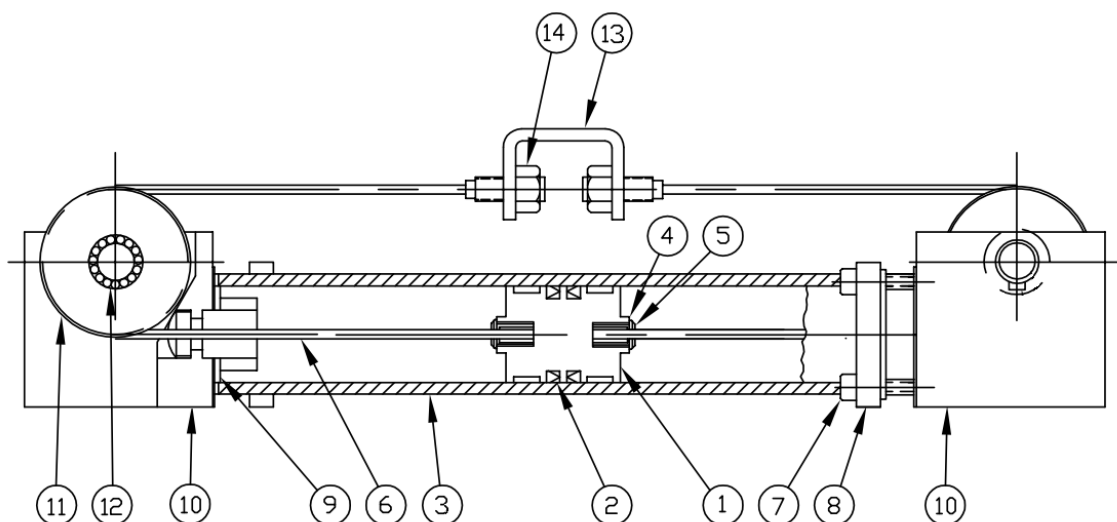
Obr. 4.10 Aplikace motorů s nosnou přírubou [14]

## 4.2 Motor s tažným kabelem nebo pásem

Tento druh bezpečnostních motorů je poměrně často využíván především pro svou jednoduchou konstrukci. Zvláštností je, že smysl pohybu unášecího prvku není shodný se smyslem pohybu pístu. Poměrně často se setkáváme s provedením, kde pneumatický pohon pístu je nahrazen elektrickým pohonem jedné z kladek.

### 4.2.1 Konstrukce motoru s tažným kabelem nebo pásem

Poměrně jednoduché konstrukční provedení obsahuje píst (1), těsnící U-manžety (2), těleso motoru (3), těsnící O-kroužky (4), podložky (5), tažný prvek – kabel, pás (6), spojovací šrouby (7), přírubu (8), těsnění vík (9), přední a zadní víka motoru (10), kladky (11), valivá ložiska (12), unášecí prvek (13) a pojistné matice (14), viz (obr. 4.11).



Obr. 4.11 Pneumatický bezpečnostní motor s tažným kabelem nebo pásem [17]

Hliníkový píst má na svém povrchu drážky, sloužící k umístění těsnících U-manžet, v některých případech může být píst vybaven i drážkami pro umístění magnetických kroužků. Odstupňování na obou stranách pístu slouží k tlumení v koncových polohách. Povrch pístu se leští, z důvodu zvýšení přesnosti a snížení tření.

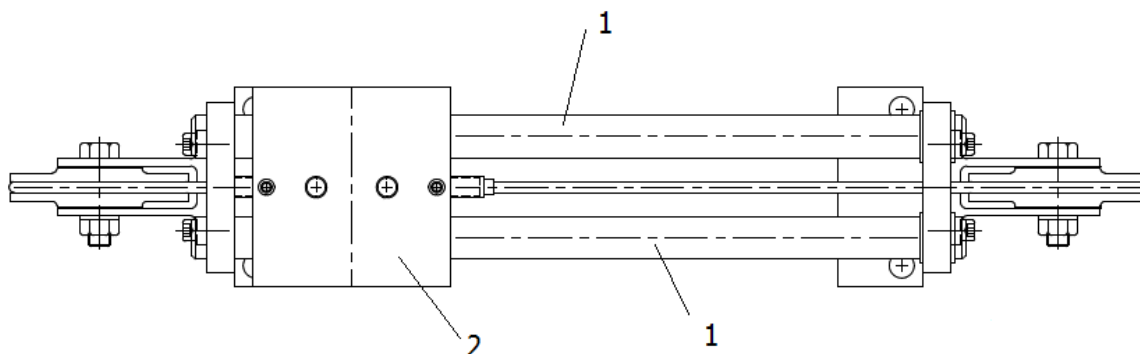
Těleso motoru tvoří hliníková bezešvá trubka, která je na obou koncích vybavena přírubami. Přední i zadní víka jsou z temperované litiny nebo hliníku. K přírubám tělesa motoru se připevňují pomocí šroubů.

Vratné kladky zhotovené ze slitin hliníku, jsou opatřeny jehlovými ložisky.



Tažný prvek tvoří ocelové lanko, jehož povrch je pokrytý ochranným povlakem z nylonu. Nylon zabraňuje poškození tažného prvku. Některá provedení využívají jako tažného prvku pás z nerezové oceli.

Unášecí prvek tvoří ocelový profil tvaru U, jehož čelní strany jsou vybaveny otvory.



Obr. 4.12 Pneumatický bezpečnostní motor s tažným prvkem a externím vedením [17]

K dostání je i varianta motoru s externím vedením (obr. 4.12), kde je unášecí prvek (vozík) kluzně uložen na externích vodících tyčích, sloužících k zajištění plynulého chodu, bez nežádoucího chvění. Tento druh konstrukce se skládá ze stejných prvků jako verze bez externího vedení, navíc však obsahuje vodící tyče (1) a unášecí prvek – vozík (2).

#### 4.2.2 Funkce motoru s tažným kabelem nebo pásem

Vstupními otvory ve víku přivádíme stlačený vzduch. Vlivem působení tlakové energie stlačeného vzduchu na čelní stěnu pístu dojde k jeho posuvu. Dochází zde k transformaci tlakové energie na energii kinetickou. Pohyb pístu ve válci se přenáší na vnější unášecí prvek pomocí systému vratných kladek. Přenos je zajištěn tažným kabelem nebo pásem. Je velice důležité zvolit správnou délku kabelu nebo pásu. Příliš dlouhý kabel se na začátku a konci zdvihu chová jako bič, což může vést k poškození motoru. Krátký kabel naopak způsobuje poškození těsnících O-kroužků a nadměrné namáhání valivých ložisek [17].

#### 4.2.3 Vlastnosti motorů s tažným kabelem nebo pásem

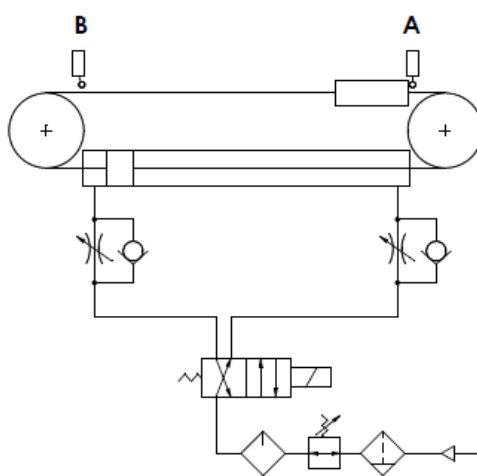
Za výhodné pokládáme fakt, že těleso motoru je monolitní, tudíž v jeho povrchu se nenachází žádná drážka. Není potřeba žádných zvláštních těsnících opatření, pouze utěsnění pásu nebo kabelu před výstupem z pracovního prostoru pístu.

Jako v předchozím provedení platí, že není možno přerušit spojení mezi pístem a unášecím prvkem. V extrémním případě může dojít k vytržení kabelu či pásu z pístu.

#### 4.2.4 Způsoby řízení motorů s tažným kabelem nebo pásem

Stejně jako pro motory s nosnou přírubou, tak i pro motory s tažným prvkem je výhodné využívat metodu negativní kontroly, viz (obr. 4.7).

Rychlost pohybu vnějšího unášeče lze řídit i metodou škrcení na výstupu (obr. 4.13). Metoda škrcení na výstupu udržuje konstantní zpětný tlak na zadní straně pístu a tím zabráňuje prudkému zrychlení v okamžiku rychlého poklesu zátěže nebo naopak.



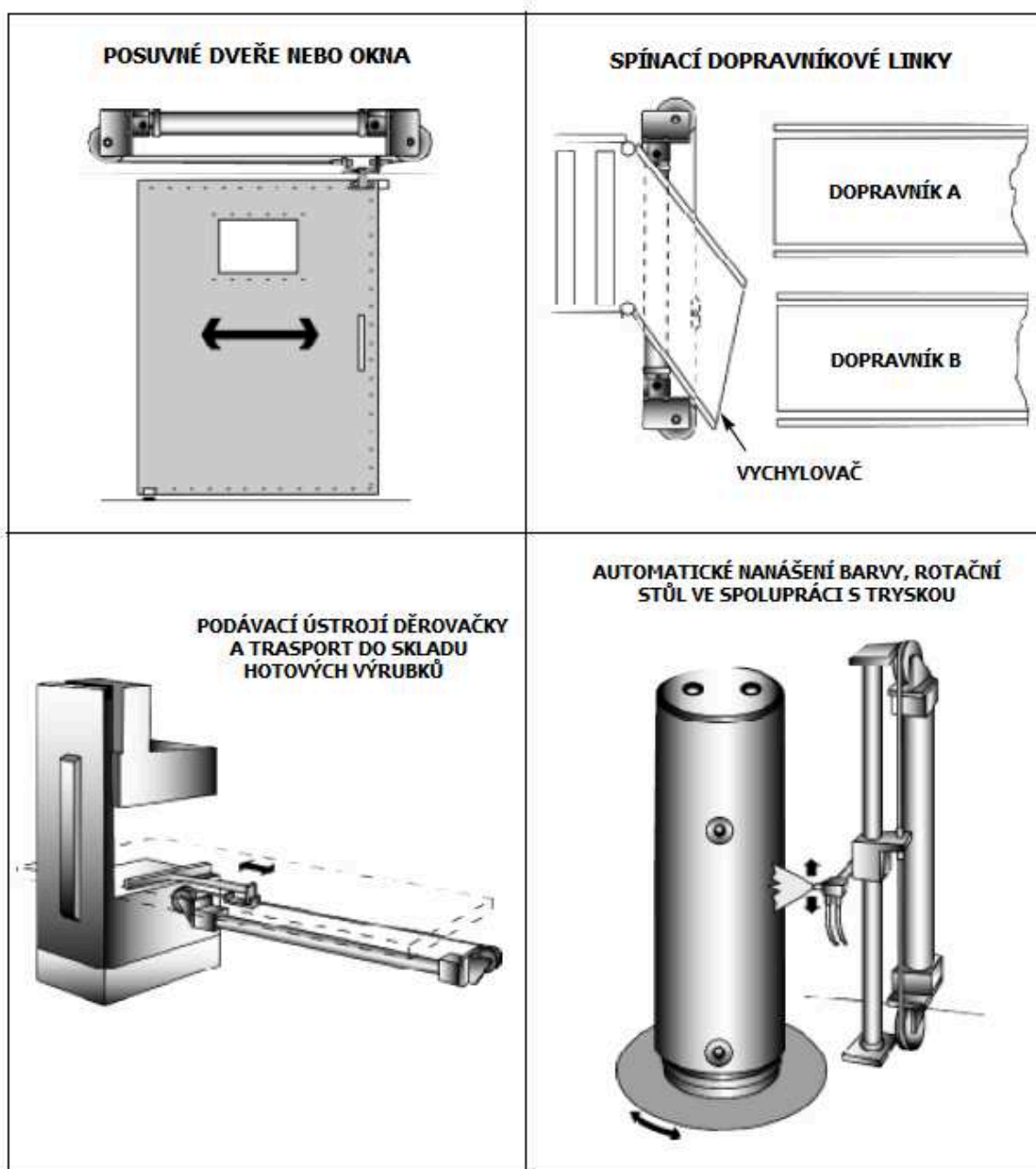
Obr. 4.13 Schéma obvodu řízení motorů s tažným prvkem [17]

#### 4.2.5 Aplikace motorů s tažným kabelem nebo pásem

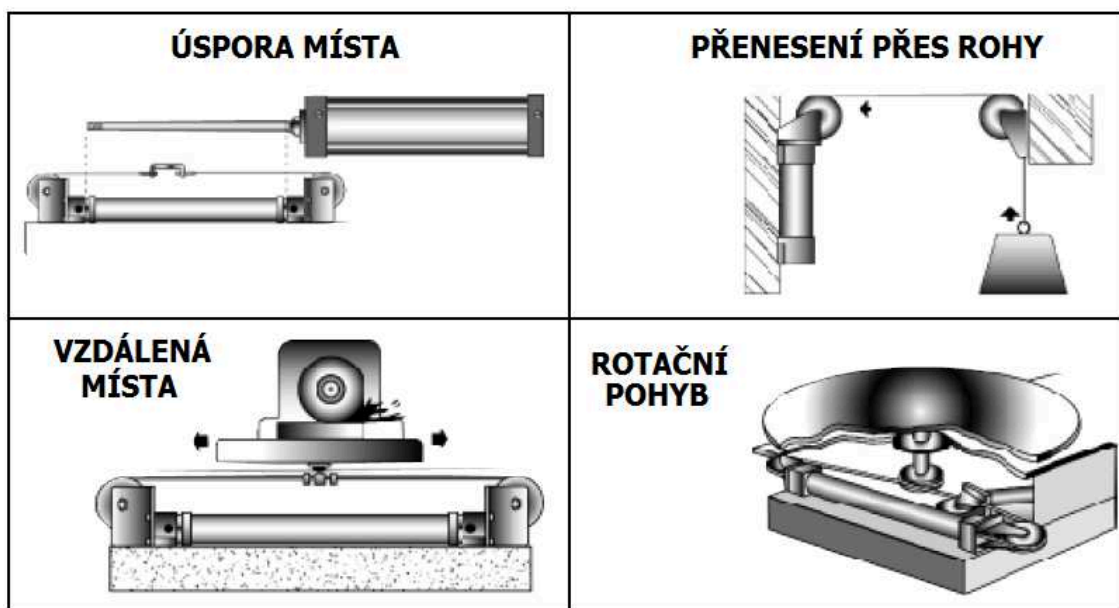
Motory s tažným kabelem lze využít pro vykonávání lineárního pohybu, například v aplikacích uvedených na (obr. 4.14). Častým použitím je právě otevírání dveří vlakových souprav, mezi jednotlivými vagóny. Tento druh motorů našel využití i při třídění vadných výrobků. V okamžiku, kdy senzor zaznamená vadný výrobek, dojde k vychýlení výhybky, což zapříčiní dopravu výrobku na jiný pásový dopravník. Také lakovací linky často využívají tohoto zařízení. Pneumatické řízení je plně automatizováno, což zaručuje rovnoměrné nanesení barvy na lakovanou součást.

Motory s tažným prvkem lze aplikovat i na vyvození jiného, než lineárního pohybu. Příklady dalších možných aplikací a výhod jsou uvedeny na (obr. 4.15).





Obr. 4.14 Aplikace použití pneumatických bezpečnostních motorů s tažným prvkem [17]



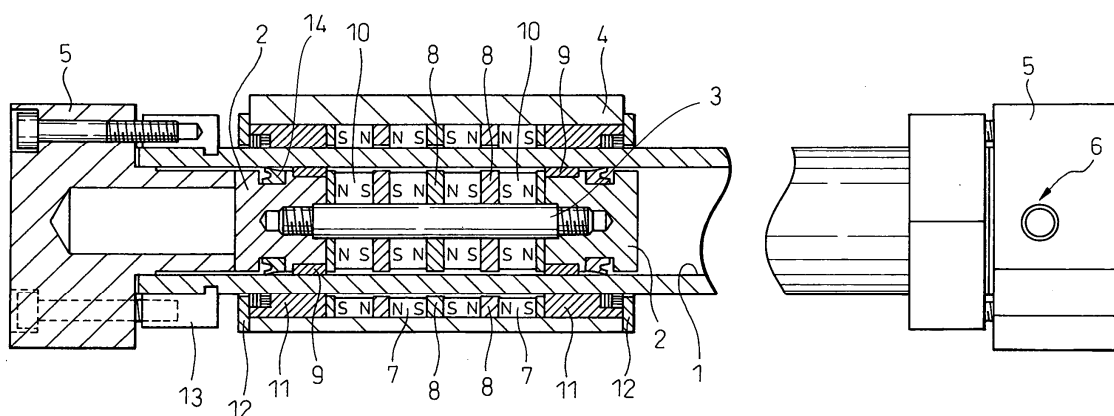
Obr. 4.15 Příklady možných aplikací bezpečnostních motorů s tažným prvkem [17]

### 4.3 Motory s magnetickým přenosem síly

Motory s magnetickým přenosem síly jsou v dnešní době stále více oblíbené. Smysl pohybu unášecího prvku je shodný se smyslem pohybu pístu. Magnetické bezpečnostní motory jsou na trhu k dostání ve dvou základních variantách: s volně otočným unáščem (obr. 4.16) a s paralelními tyčemi pro vedení unášče (obr. 4.17). Některé konstrukce využívají k přenosu síly elektromagnetických spojek. „Přenášená síla odpovídá síle standardního pneumatického válce“ [5].

#### 4.3.1 Konstrukce motoru s magnetickým přenosem síly

Motory s magnetickým přenosem síly se skládají z tělesa motoru (1), konců pístu (2), spojovacího šroubu (3), unášecího prvku (4), předního a zadního víka (5), vstupního a výstupního portu (6), vnějších magnetů (7), vnějších a vnitřních třmenů (8), vnitřních opěrných kroužků (9), vnitřních magnetů (10), vnějších opěrných kroužků (11), koncových desek (12), přírub tělesa motoru (13) a těsnících manžet (14).

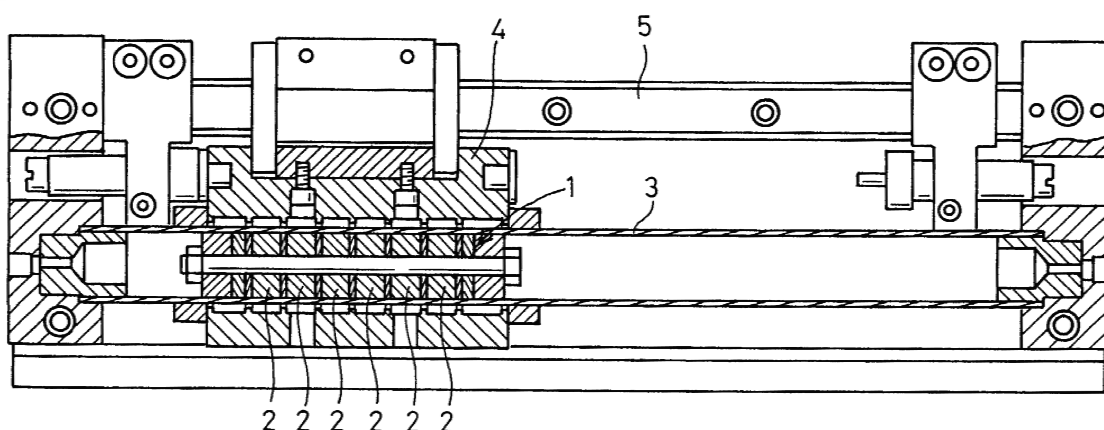


Obr. 4.16 Motor s magnetickým přenosem síly [20]

Těleso motoru tvoří bezešvá trubka kruhového průřezu. Pro její výrobu se využívá vysoce leštěných, korozivzdorných, nemagnetických materiálů.

Píst je vyráběn z eloxovaného hliníku, což je chemicko-tepelná povrchová úprava, spočívající ve vytvoření tenké vrstvy vlastního oxidu na povrchu součásti. Tato vrstva už dále nekoroduje, proto je vhodné, této technologii využívat právě v pneumatických mechanismech, kde se vytváří kondenzát. Spojovací šroub spojuje oba konce pístu, vnitřní třmeny a magnetické kroužky v jeden celek.

Hliníkové odlitky obou vík jsou k tělesu motoru přišroubovány pomocí zápusťných šroubů. Víka obsahují i nastavitelný škrťací systém pneumatického tlumení.



Obr. 4.17 Magnetický bezpečnostní motor s paralelními vodícími tyčemi [20]

Konstrukce s externím vedením (obr. 4.17) obsahuje píst (1), magnetické kroužky (2), těleso motoru (3), unášecí prvek (4), vodící tyče (5).

Vodící tyče se vyrábí z pochromované oceli a eliminují nežádoucí chvění. Motory vybavené tímto zařízením jsou přesnější a tužší. Dokážou snášet větší zatížení a krouticí

momenty. Je nutné mít na paměti, že vyšší momenty způsobují vyšší tření ve vodících pouzdrech, což vede k jejich rychlejšímu opotřebení [5].

#### **4.3.2 Funkce motoru s magnetickou (elektromagnetickou) spojkou**

U tohoto druhu jsou píst i unášec vybaveny silnými permanentními magnety, v některých případech elektromagnety. Pohyb pístu se silově přenáší působením magnetické spojky na pohyblivý vnější unášec.

#### **4.3.3 Vlastnosti motorů s magnetickou spojkou**

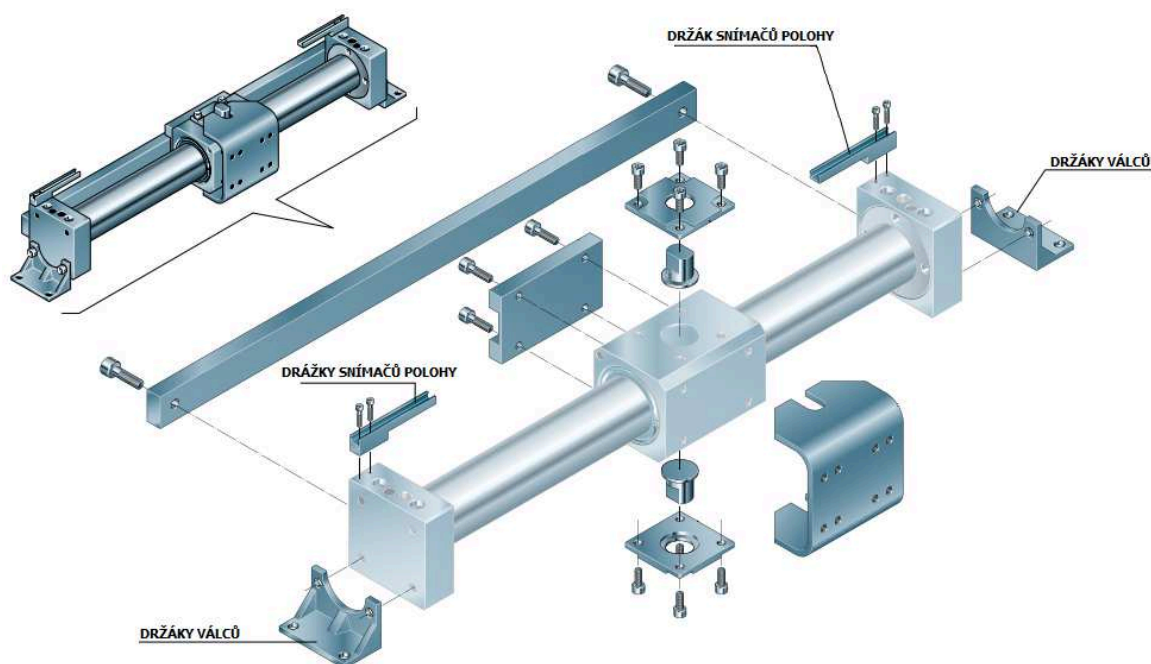
Motory s magnetickou spojkou využíváme ve velmi čistých provozech. Nedochází zde k žádným únikům stlačeného vzduchu ani ke znečištění, jelikož pracovní prostor motoru je hermeticky uzavřen.

Magnetické bezpístnicové motory umožňují přerušení spojení mezi pístem a unášecím prvkem, aniž by došlo k poškození motoru. To znamená, že pokud píst narazí během zdvihu ve vysoké rychlosti na pevný doraz, dojde k přerušení magnetických siločar tzv. utržení pístu. Přerušení spojení lze využít jako bezpečnostní prvek, tudíž ochrana proti přetížení.

Možnost přerušení spojení může být v některých případech restriktivní. Přepavní síla motoru, je omezena silou mezi dvěma magnety.

#### **4.3.4 Příslušenství motorů s magnetickým přenosem síly**

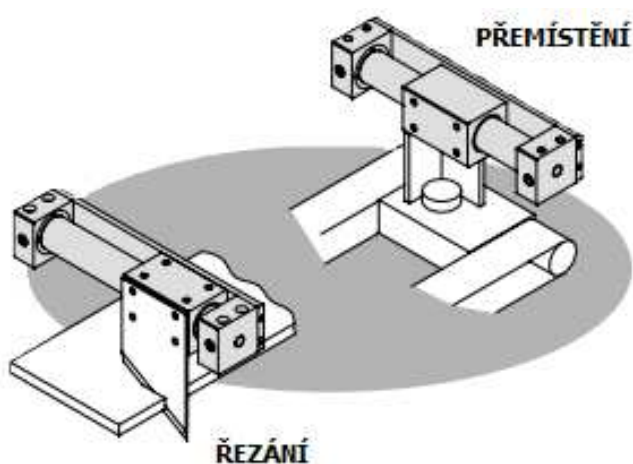
K motorům tohoto provedení je možné získat příslušenství, které vidíme na (obr. 4.18). Jedná se především o držáky snímačů polohy, upevňovací prvky samotného motoru, vodící lišty unášecího prvku zamezující rotaci kolem své vlastní osy a další.



Obr. 4.18 Příslušenství bezpečnostních motorů s magnetickým přenosem síly [12]

#### 4.3.5 Aplikace motorů s magnetickým přenosem síly

Pro výše zmiňované vlastnosti se pneumatické motory s magnetickým přenosem síly často využívají v potravinářském a farmaceutickém průmyslu. Uplatnění nachází na automatizovaných výrobních linkách, při procesu řezání a transportu výrobků (obr. 4.19). Je však možné stejné použití jako u motorů s nosnou přírubou, viz (obr. 4.8, obr. 4.9, obr. 4.10).



Obr. 4.19 Použití bezpečnostních motorů s magnetickým přenosem síly [13]

## 5 Tlumení kinetické energie

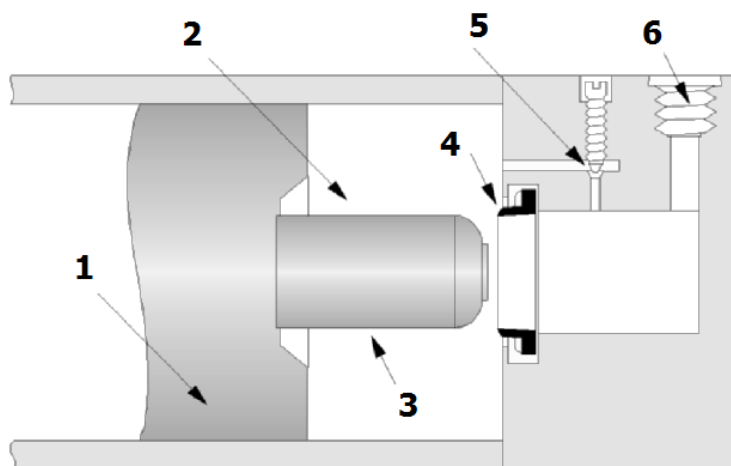
Hmota přepravována pneumatickými bezpečnostními motory často dosahuje vysokých rychlostí až  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Na konci zdvihu je potřeba rychlost pístu výrazně snížit. Náraz pístu ve vysoké rychlosti na pevný doraz, může způsobit poškození dopravovaného předmětu nebo motoru samotného. Tlumení koncových poloh lze realizovat pomocí dvou druhů tlumení a to vnitřního a vnějšího.

### 5.1 Vnitřní tlumení koncových poloh

Jinak nazýváno jako pneumatické tlumení, se stalo nedílnou součástí pneumatických bezpečnostních motorů a jiných druhů pohonů. Pomocí pneumatického tlumení je možno absorbovat až 10krát větší kinetickou energii, než s dorazy pevnými. Není však vhodné pro motory s malým zdvihem a vysokou frekvencí pracovních cyklů za minutu [5].

#### 5.1.1 Konstrukce vnitřního pneumatického tlumení

Systém pneumatického tlumení (obr. 5.1) obsahuje píst (1), válcovou komoru (2), oštep (3), těsnicí manžetu (4), škrťací systém (5), vstupní a výstupní port (6).



Obr. 5.1 Pneumatické tlumení [4]

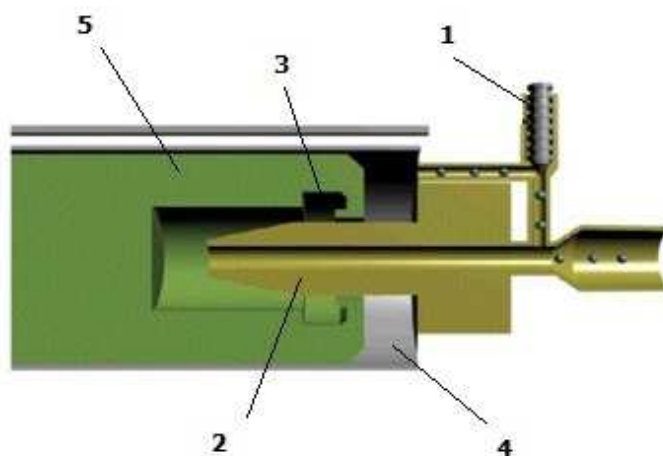
#### 5.1.2 Funkce pneumatického tlumení

Zleva přijíždějící píst před sebou tlačí množství vzduchu, které putuje přes kanál, v němž je umístěna jednosměrná těsnicí manžeta, výstupním portem ven z motoru. V okamžiku kdy se odstupňovaná část pístu (oštep) zasune do těsnicí manžety, dojde

k jejímu natlačení na pravou stěnu zápichu (obr. 5.3a), tedy k uzavření hlavního odvodu vzduchu. Zbývá vzdušina se začne tlačit kanálem menšího průměru skrz škrticí systém. Intenzitu tlumicího efektu lze regulovat nastavením polohy šroubu. Prudké zvýšení tlaku v oblasti před pístem způsobí zpomalení pístu. Kanál není schopen odvézt takové množství vzduchu, jaké se píst snaží vytěsnit. Teplo vzniklé při kompresi vzduchu je odvedeno materiálem vík motoru do okolního prostředí. Dráha tlumení by měla být co nejkratší.

Bezpečnostní motory s tažným prvkem a motory s magnetickým přenosem síly, využívají stejného konstrukčního řešení pneumatického tlumení, jako konvenční motory s pístní tyčí (obr. 5.1).

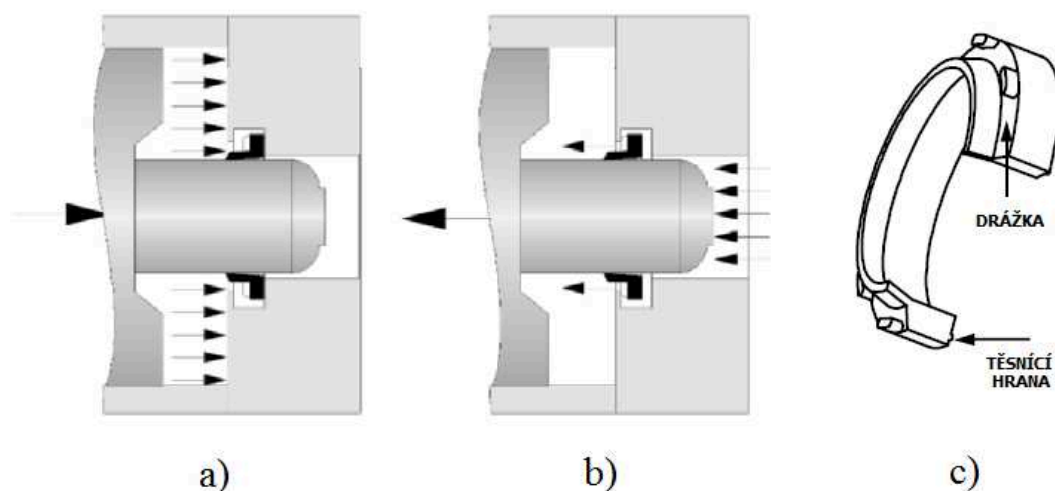
Pro motory s nosnou přírubou se využívá přesně opačného konstrukčního provedení (obr. 5.2). Oštěp pro tlumení koncové polohy není součástí pístu, ale je pevně upevněn ve víku motoru.



Obr. 5.2 Pneumatické tlumení motorů s nosnou přírubou [22]

*škrticí jehla (1), tlumicí oštěp (2), těsnící manžeta (3), válcová komora (4), píst (5)*

Při rozjezdu pístu proud stlačeného vzduchu tlačí těsnící manžetu na levou stěnu zápichu (obr. 5.3b). Drážky na manžetě (obr. 5.3c) umožňují průchod vzduchu do hlavní válcové komory. Tlak vzduchu působí na celou čelní plochu pístu, tím se zajistí jeho plynulý rozjezd.



Obr. 5.3 a – tlumení pístu, b – rozjezd pístu, c – řez těsnící manžetou [4]

V případě, že manžeta nebude vybavena drážkami, tlak se bude vyvíjet pouze na čelní plochu oštěpu, což může způsobit pomalý nebo žádný rozjezd.

## 5.2 Vnější tlumení koncových poloh

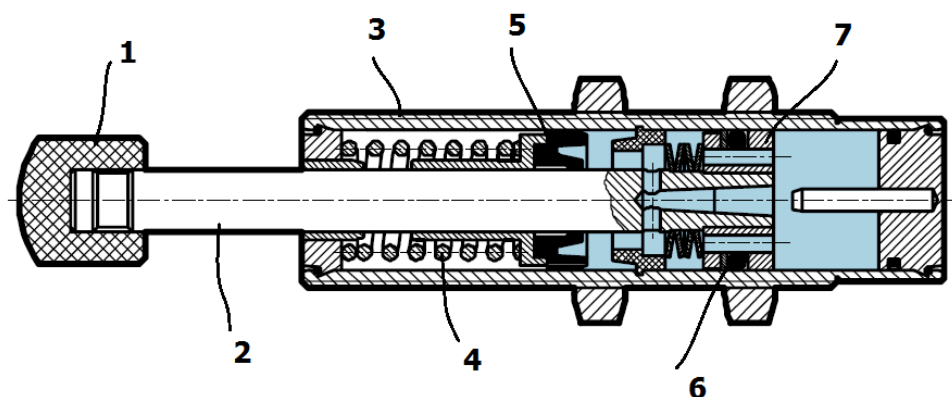
Neboli tlumení koncových poloh pomocí externích hydraulických tlumičů. Absorbují ještě větší hodnoty kinetické energie, než tlumení pneumatické. Jejich konstrukce je potřeba využít ve chvíli, kdy rychlost posuvu překročí hodnotu  $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . V případě použití externích tlumičů je počet pracovních cyklů motoru omezen na hodnotu 10–80 za minutu [5]. Řada pneumatických bezpečnostních motorů je svou konstrukcí přímo uzpůsobena pro tento druh tlumení. Můžeme vyloučit vibrace i rozkmitání konstrukce stroje.

### 5.2.1 Konstrukce hydraulických tlumičů koncových poloh

Hydraulické tlumiče se vyrábí v mnoha provedeních a pro různé druhy použití. Svou konstrukcí mohou připomínat jednočinný hydraulický válec se zpětnou silou od pružiny.

Pro popis konstrukce jsem vybral tlumič nárazů YSR-C firmy Festo (obr. 5.4), který se skládá z tlumícího dorazu (1), pístnice (2), tělesa tlumiče (3), pružiny (4), těsnící manžety (5), těsnícího O-kroužku (6), a pístku (7).



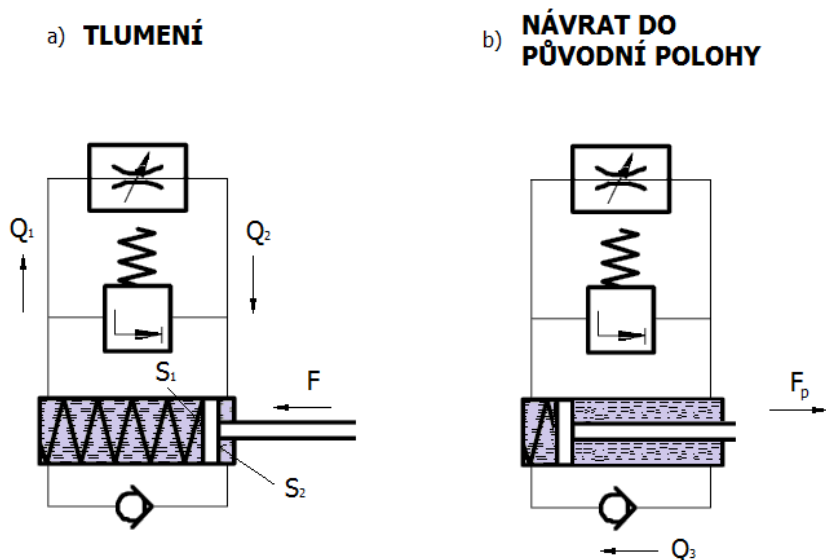


Obr. 5.4 Řez hydraulickým tlumičem nárazů Festo YSR-C [16]

### 5.2.2 Funkce a princip činnosti tlumiče nárazů YSR-C

Princip tlumení je znázorněn na (obr. 5.5a). Pohybující se unášecí prvek bezpístnicového motoru narazí do tlumícího dorazu silou  $F$ . Pohyb je na píst tlumiče přenášen pomocí pístnice. Hydraulická kapalina na zadní stěně pístu  $S_1$  je skrz škrticí systém dopravována do místa válce s plochou pístu  $S_2$ . Brzdňý efekt zajišťuje snížená jmenovitá světlost potrubí na škrtícím ventilu.

V okamžiku odlehčení zátěže (obr. 5.5b) je píst vlivem síly pružiny  $F_p$  vrácen zpět do své původní polohy. Kapalina ve válci, na straně plochy pístu  $S_2$ , je transportována přes jednosměrný kuličkový ventil do válcové komory na stranu plochy pístu  $S_1$ .



Obr. 5.5 Princip činnosti hydraulického tlumiče nárazů Festo YSR-C [16]

## 6 Těsnění

Těsnění je jedním ze základních prvků, bez kterého by žádný z tekutinových mechanismů nemohl správně fungovat. Funkce a přenášený výkon úzce závisí na míře utěsnění tlakového a pracovního prostoru a na zajištění dostatečně velkých svodových odporů pro dosažení potřebných tlaků a proudů. „*Těsnicí prvky zvyšují svodový odpor bez podstatného zvýšení technologické náročnosti*“ [6].

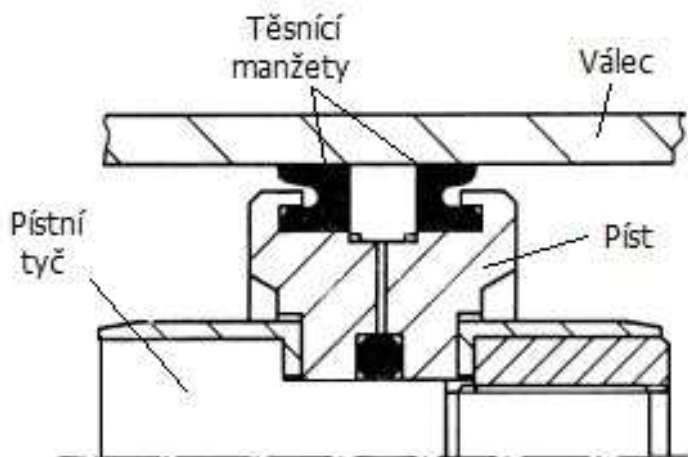
Těsnit lze přesnou výrobou (lícováním), nebo pomocí těsnících kroužků, manžet, pásků a jiných prvků.

Materiály ze kterých lze těsnicí prvky vyrábět jsou syntetická (chloroprénová, silikonová, polyuretanová) pryž nebo plast (teflon, polypropylén, měkčený PVC). Těsnění musí být schopno zajistit správný chod motoru v rozsahu okolních teplot  $-10-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , rychlostí až  $3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  s životností až  $4000\text{ km}$ . Na konci životnosti nesmí maximální průtokové ztráty dosahovat hodnoty větší než  $5\cdot 10^{-6}\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  nasátého vzduchu [1].

### 6.1 Těsnění pístů pneumatických bezpečnostních motorů

Prvky vhodné k utěsnění pohybujícího se pístu ve válci nazýváme těsnicí manžety. Principem těsnění je pomocí tlakové tekutiny přitlačovat jazýček manžety na těsněnou plochu. „*Jazýčky jsou vytvořeny vyhnutím hrany manžety směrem k těsněné ploše, což vytváří v těsnění předpětí již po jeho namontování*“ [6].

Nevýhodou manžet je schopnost těsnit pouze v jednom směru. Bezpečnostní motory spadají do kategorie dvojčinných pohonů, proto konstrukční provedení těsnění volíme tak, aby plnila funkci v obou směrech pohybu, viz (obr. 6.1).



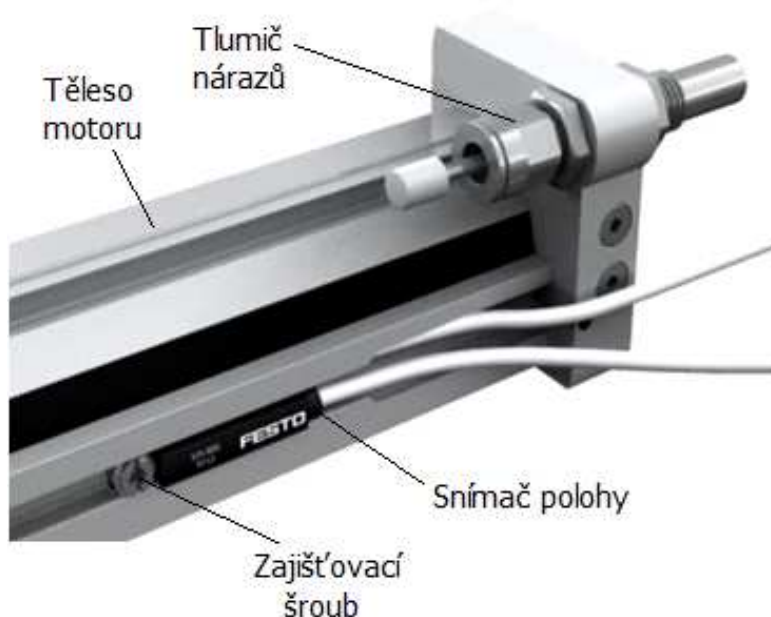
Obr. 6.1 Těsnění pístu dvojčinného motoru pomocí těsnících manžet [23]

Nejčastěji používaným typem manžet v pneumatice jsou pryžové U-manžety. Ty se vyrábějí jako homogenní (nevrstvené), nebo zpevněné pomocí textilních vložek ze syntetických či přírodních vláken (vrstvené). Každý ze směru pohybu pístu je utěsněn pouze jednou manžetou.

Nízký pracovní tlak je hlavním důvodem, proč pneumatika neklade nijak zvláštní nároky na těsnění. Co se týče bezpečnostních pneumatických motorů využíváme nevrstvených, pryžových U-manžet vhodných do tlaku  $20 \cdot 10^6 \text{ Pa}$  [6].

## 7 Snímání polohy

Pro snímání polohy pneumatických bezpečnostních motorů se především využívá tzv. bezkontaktní metody. Tento způsob snímání polohy je velice spolehlivý, nevznikají zde žádná opotřebení, zátky ani opálení kontaktů. Konstrukční řešení bezpečnostních motorů ve většině případů již obsahuje drážky, sloužící k uložení snímačů přímo na těleso motoru, viz (obr. 7.1).



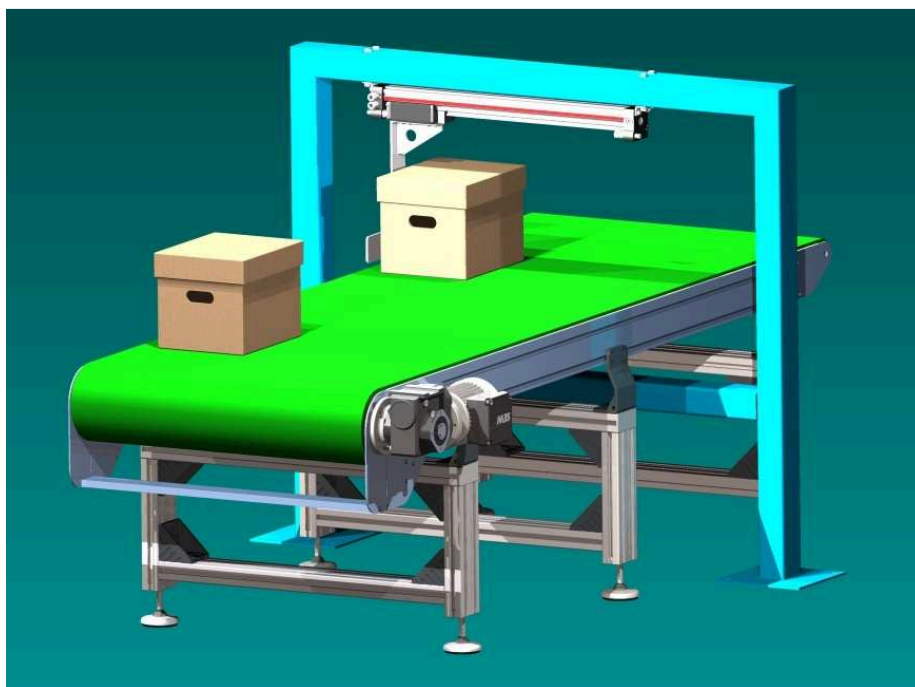
Obr. 7.1 Uložení snímače polohy [21]

Metoda spočívá v detekci magnetického pole magnetu, přes stěnu tělesa motoru. V převážné většině je magnet integrován v pístu v podobě kroužku. Spolehlivost snímání je zaručena i při vysokých procesních rychlostích.

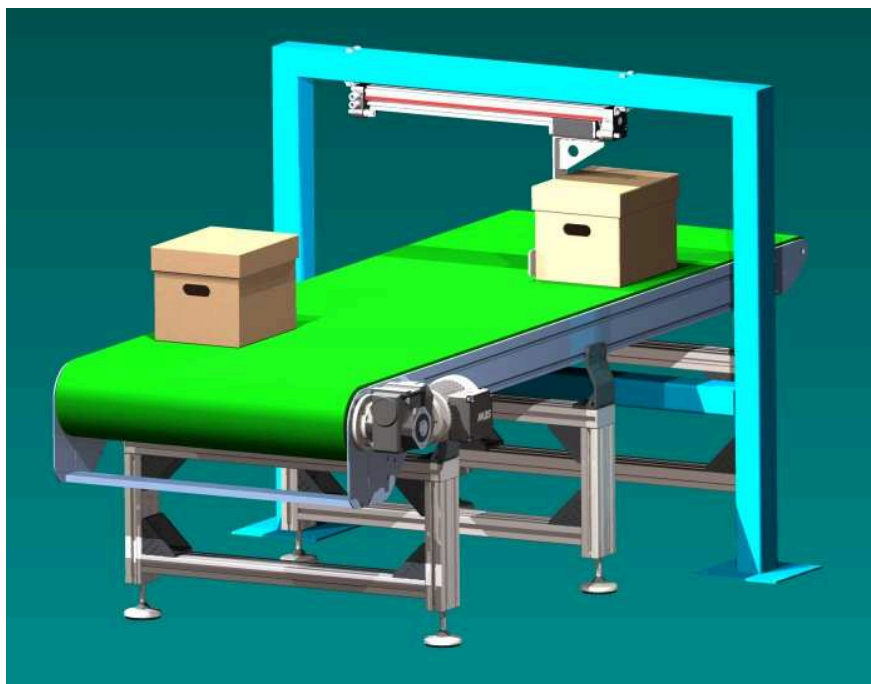
## 8 Návrh a výpočet bezpečnostního motoru

Hlavním úkolem mé bakalářské práce je pro konkrétní případ třídícího systému pásového dopravníku navrhnout bezpečnostní pneumatický motor. Pás je vyroben z materiálu *PVC* o šířce  $b_p=0,6\text{ m}$ . Dopravuje papírové krabice o rozměrech: výška  $h=0,2\text{ m}$ , šířka  $b=0,2\text{ m}$  a délka  $l=0,25\text{ m}$ . Hmotnost jedné krabice je  $m_K=10\text{ kg}$ . Kolizi při návratu motoru neuvažujeme.

Na pásovém dopravníku jsou přepravovány, již hotové výrobky, které jsou zabaleny v papírových krabicích (obr. 8.1). Dříve, než se krabice dostanou na úroveň bezpečnostního motoru, projdou vážením a optickým senzorem. V případě že jeden z těchto kontrolních systému zaznamená chybu, dojde k přestavení rozváděcího ventilu a tím také k přivedení pracovního média do prostoru válcové komory na levé straně pístu. To způsobí přestavení lopatky do její pravé koncové úvratě a také přesunutí krabice na druhý okraj pásu, viz (obr. 8.2). Takto přesunutá krabice poté putuje na jiný pásový dopravník, kde jí čeká odstranění vady nebo její úplné vyřazení.



Obr. 8.1 Vizualizace třídící linky v základní poloze

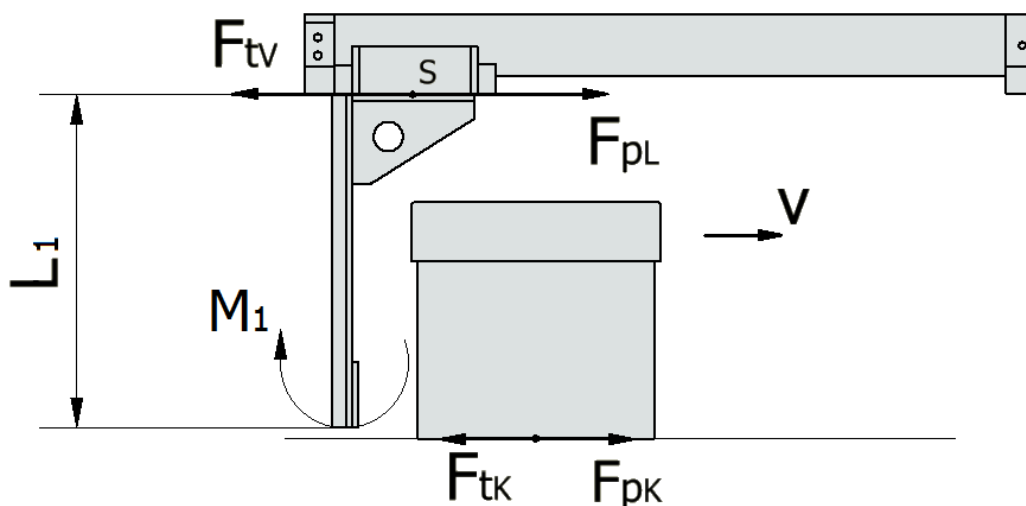


Obr. 8.2 Vizualizace třídící linky v pracovní poloze

### Výpočet průměru pístu

Prvním krokem při návrhu bezpečnostního motoru je stanovení minimálního průměru pístu, který je schopen správné funkce třídící linky.

Výpočet tedy začíná zjištěním velikosti působících sil v systému, viz (obr. 8.3).



Obr. 8.3 Grafické zobrazení působících sil a momentu

Potřebnou sílu, kterou je nutné překonat k uvedení motoru spolu s třídící lopatkou do pohybu, vypočteme jako:

$$F_{p_L} = F_{t_L} = m_L \cdot g \cdot f_v = 1,768 \cdot 9,81 \cdot 0,0025 = \underline{\underline{0,043N}} \quad (1.1)$$

Hmotnost třídící lopatky  $m_L = 1,768 \text{ kg}$  byla stanovena pomocí programu Autodesk Inventor profesional 2013.

Koeficient tření ve vedení  $f_v$  byl stanoven z katalogu firmy MiSUMi, výrobce kluzných lineárních vedení [28].

Ve výpočtu neuvažujeme s odporem proti pohybu, vznikajícím mezi těsněním pístu a válcovou komorou tělesa motoru.



Obr. 8.4 Detail lopatky připojené k motoru.

Tuto úvahu aplikujeme stejným způsobem na krabici, v níž je uložen výrobek. Sílu potřebnou k rozpohybování samotné krabice, tedy zjistíme z rovnice:

$$F_{p_K} = F_{t_K} = m_K \cdot g \cdot f_K = 10 \cdot 9,81 \cdot 0,3 = \underline{\underline{29,430N}} \quad (1.2)$$

Součinitel tření mezi krabicí a pásem dopravníku  $f_K$  byl stanoven odhadem [27].

Nyní je důležité předchozí dvě síly sečíst, čímž dostaneme minimální potřebnou sílu, kterou musíme vyvinout, aby došlo k rozpohybování systému.

$$F_{p_C} = F_{p_L} + F_{p_K} = 0,043 + 29,43 = \underline{\underline{29,473N}} \quad (1.3)$$

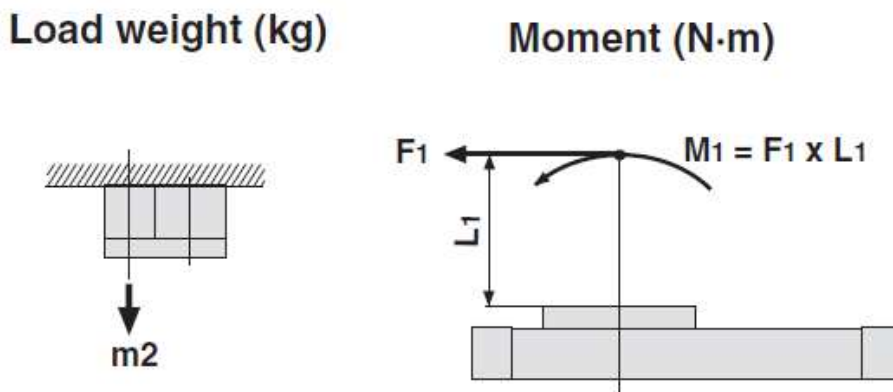
Běžná hodnota pracovního tlaku pneumatických mechanismů je  $0,6 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ , s touto hodnotou budeme dále také pracovat. Minimální průměr pístu, který je schopen zajistit spolehlivý chod třídící linky stanovíme z rovnice:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{4 \cdot F p_c}{\pi \cdot d^2} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot F p_c}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 29,473}{\pi \cdot 600000}} = 0,008 \text{ m} = \underline{\underline{7,908 \text{ mm}}} \quad (1.4)$$

Je nutné si uvědomit, že vypočtený průměr pístu je pouze orientační. Není možné volit motor s nejbližším vyšším průměrem pístu a domnívat se, že vše bude fungovat bez komplikací. Do výpočtu totiž není zahrnut moment síly potřebné k rozpohybování krabice, působící na konci lopatky.

### Výpočet faktoru zatížení

Před zahájením jakýchkoli dalších výpočtů je nutné ověřit, zda je motor schopen snést hmotnostní a momentové zatížení, jakému bude při konání práce vystaven, viz (obr. 8.5). Postup výpočtu maximálního zatížení při návrhu bezpečnostního motoru je proveden podle katalogu firmy SMC [24].



Obr. 8.5 Smysl působení hmotnostního a momentového zatížení [24]

V daném případě je jedinou hmotnostní složkou lopatka  $m_L = 1,768 \text{ kg}$ , která je pomocí šroubů pevně spojena s unášecím prvkem motoru.

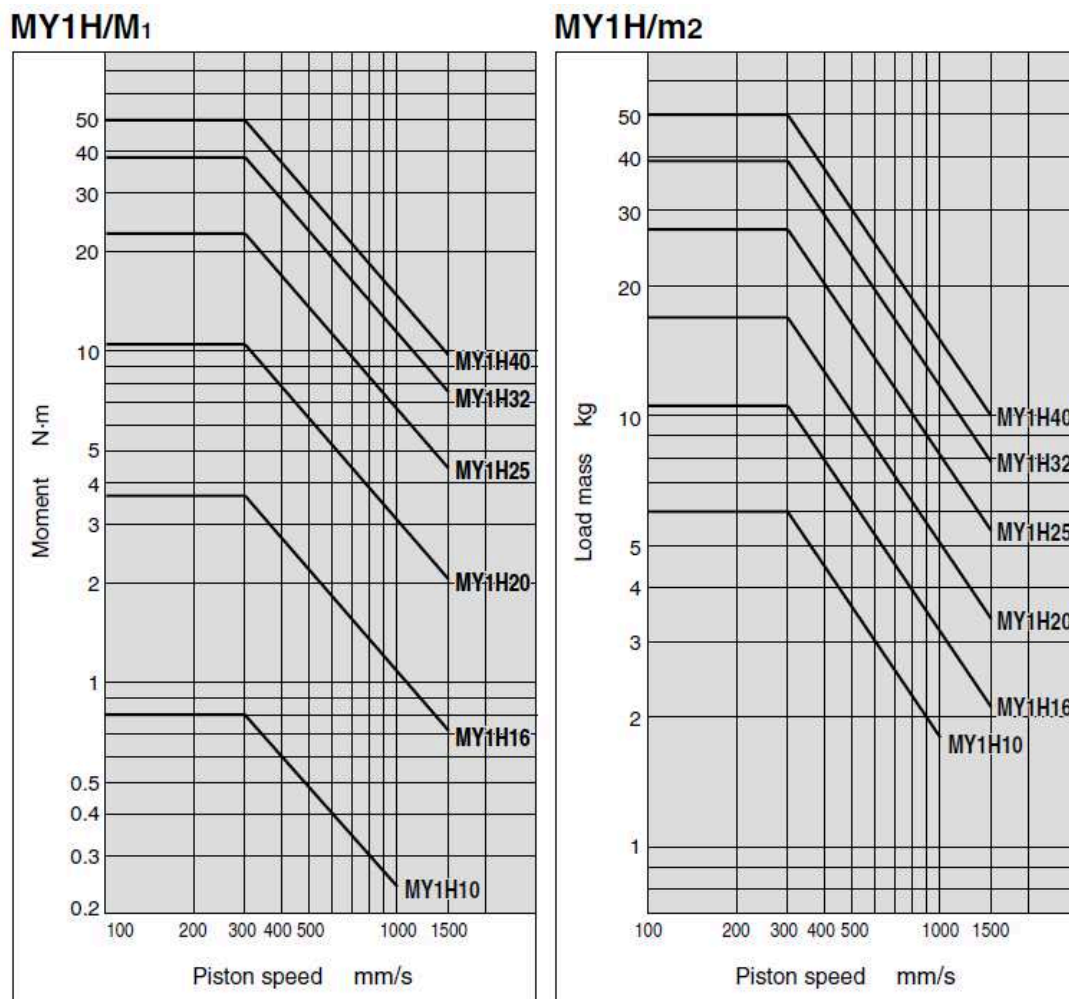
Síla potřebná k rozpohybování krabice nám v systému vytváří moment. Rameno této síly volíme na úplném konci lopatky a to z důvodu vyloučení možnosti, že v některém



místě systému vzniká ještě větší momentové zatížení. Z rovnice uvedené na (obr. 8.5) jsme schopni stanovit velikost momentu.

$$M_1 = F_1 \cdot L_1 = m_K \cdot g \cdot f_K \cdot L_1 = 10 \cdot 9,81 \cdot 0,3 \cdot 0,28 = \underline{\underline{8,240 \text{ N} \cdot \text{m}}} \quad (1.6)$$

Výsledky je nutné porovnat s hodnotami stanovenými výrobcem. Maximální dovolené hodnoty momentů a hmotností jsou uvedeny v grafu na (obr. 8.6).



Obr. 8.6 Grafy maximálních dovolených hodnot zatížení [24]

Při prvním pohledu na grafy dovolených hodnot se může zdát, že nejvhodnějším motorem pro danou aplikaci je motor s označením *MY1H20* od společnosti SMC. Po provedení série výpočtů jsem došel k závěru, že motor by byl příliš přetěžován, to je důvod proč volím motor vyšší řady s označením *MY1H25*. Pro tento typ bezpečnostního motoru je maximální přípustný statický moment  $M_{1MAX}=23 \text{ N} \cdot \text{m}$  a maximální hmotnost zátěže  $m_{2MAX}=27,5 \text{ kg}$  (obr. 8.6).



Posledním krokem je výpočet samotného faktoru zatížení motoru. Ten vypočteme z rovnice [24]:

$$\sum \alpha = \frac{m_K}{m_{2 \text{ MAX}}} + \frac{M_1}{M_{1 \text{ MAX}}} + \frac{M_E}{M_{E \text{ MAX}}} \leq 1 \quad (1.7)$$

V rovnici (1.7) je potřeba ještě určit neznámé veličiny dynamický moment  $M_E$  a maximální přípustný dynamický moment  $M_{E \text{ MAX}}$ . Maximální dynamický moment stanovíme z grafu  $MYIH/M_I$  (obr. 8.6), kde [24]:

$$M_{E \text{ MAX}} = 1,4 \cdot v_a = 420 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1} \Rightarrow 17,5 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (1.8)$$

kde  $v_a$  je střední rychlost pohybu motoru.

Poslední neznámou veličinou je dynamický moment, ten vypočítáme z rovnice [24]:

$$\begin{aligned} M_E &= \frac{1}{3} \cdot F_E \cdot L_1 \\ M_E &= \frac{1}{3} \cdot (1,4 \cdot v_a \cdot \delta \cdot g \cdot m_L) \cdot L_1 \\ M_E &= \frac{1}{3} \cdot \left( 1,4 \cdot 300 \cdot \frac{1}{100} \cdot 9,81 \cdot 1,768 \right) \cdot 0,28 \\ M_E &= \underline{\underline{6,799 \text{ N} \cdot \text{m}}} \end{aligned} \quad (1.9)$$

kde  $F_E$  je ekvivalentní zatížení při nárazu,  $\delta$  je koeficient tlumení.

Nyní známe všechny veličiny uvedené v rovnici (1.7), nic tedy nebrání v dopočítání hodnoty faktoru zatížení.

$$\begin{aligned} \sum \alpha &= \frac{m_K}{m_{2 \text{ MAX}}} + \frac{M_1}{M_{1 \text{ MAX}}} + \frac{M_E}{M_{E \text{ MAX}}} \leq 1 \\ \sum \alpha &= \frac{1,768}{27,5} + \frac{8,24}{23} + \frac{6,766}{17,5} \leq 1 \\ \sum \alpha &= \underline{\underline{0,811}} \leq 1 \end{aligned}$$

Podmínka  $\sum \alpha \leq 1$  je splněna, z toho vyplývá, že motor *MYIH25* je vhodný pro použití v aplikaci.

Dle výpočtu pro zadanou aplikaci volím bezpečnostní motor firmy SMC **MY1H25-350**. Jedná se o motor mechanického spojení s nosnou přírubou a kluzným vedením (obr. 8.7).



Obr. 8.7 Bezpečnostní motory série MY1H, firmy Festo [25]

Další informace o bezpečnostním motoru jsou uvedeny v (tab. 8.1).

Tab. 8.1 Technické údaje bezpečnostních motorů řady MY1H [24]

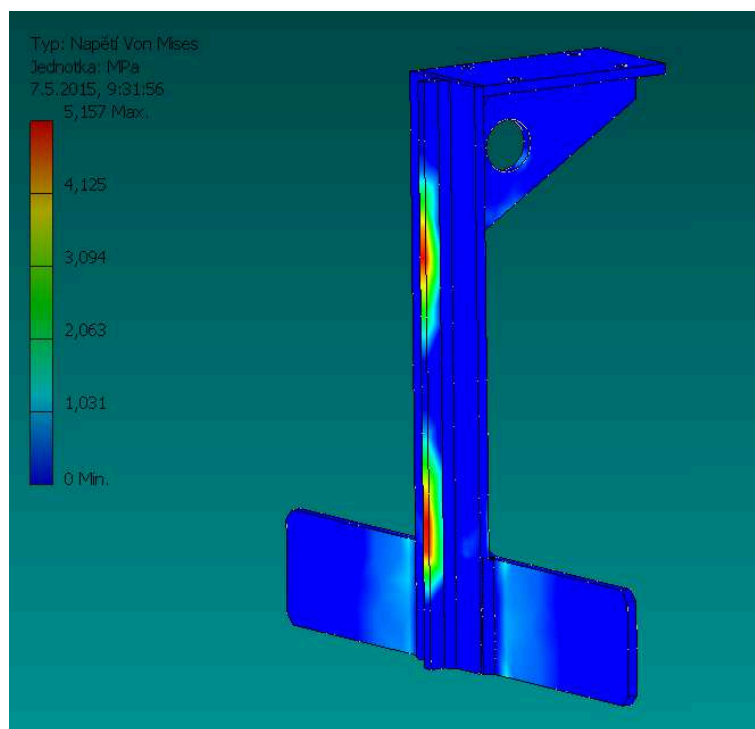
Bore size (mm)		25	32	40
Fluid		Air		
Action		Double acting		
Operating pressure range		0.1 to 0.8 MPa		
Proof pressure		1.2 MPa		
Ambient and fluid temperature		5 to 60°C		
Cushion		Air cushion		
Lubrication		Non-lube		
Stroke length tolerance		+1.8 0		
Piping port size	Front/Side port	Rc1/8		Rc1/4
	Bottom port	ø6		ø8

Rychlost pohybu pístu je  $v_a = 0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Z grafu (obr. 8.6) je patrné, že se jedná o nejvyšší možnou rychlost, při které nedochází k žádným změnám maximálních dovolených hodnot zatížení. Přibližný čas potřebný k přemístění krabice zjistíme z rovnice (1.10).

$$t = \frac{s}{v_a} = \frac{0,35}{0,3} = \underline{\underline{1,167 \text{ s}}} \quad (1.10)$$

**Pevnostní kontrola**

Svařenec lopatky je k unášecímu prvku motoru připojen pomocí čtyř šroubů velikosti *M5* s roztečí *0,8 mm*. Pevnostní kontrola lopatky (obr. 8.8), svarů i šroubů byla provedena pomocí pevnostní analýzy v programu Autodesk Inventor professional 2013. Vše vyhovuje požadavkům, pro použití v této aplikaci.



Obr. 8.8 Pevnostní analýza třídící lopatky v programu Autodesk Inventor professional 2013

## 9 Přehled výpočetních programů

Převážná většina předních světových výrobců pneumatické techniky poskytuje nejen katalogový přehled společně s CAD modely celého svého sortimentu, ale i výpočetní softwary určené pro různé druhy zařízení.

Přehled výpočetních softwarů určených pro výpočet pneumatických bezpečnostních motorů:

- Festo – GSED,
- SMC – Pneumatic model selection program,
- Rexrothpneumatics – Aventics.

## 9.1 Rozbor výpočetních programů

Všechny výše uvedené výpočetní programy rozhodně ulehčují uživateli práci, při prvotním rozhodování, jaký typ a velikost motoru je pro danou aplikaci potřeba zvolit. Komunikace mezi softwarem a uživatelem probíhá pomocí dialogových oken, může tedy snadno dojít k nedorozumění a kladení si otázek, co tím vlastně vývojáři mysleli. Je proto nezbytné, brát výsledky těchto softwarů pouze jako orientační a vše raději podložit vlastnoručně provedenými výpočty.

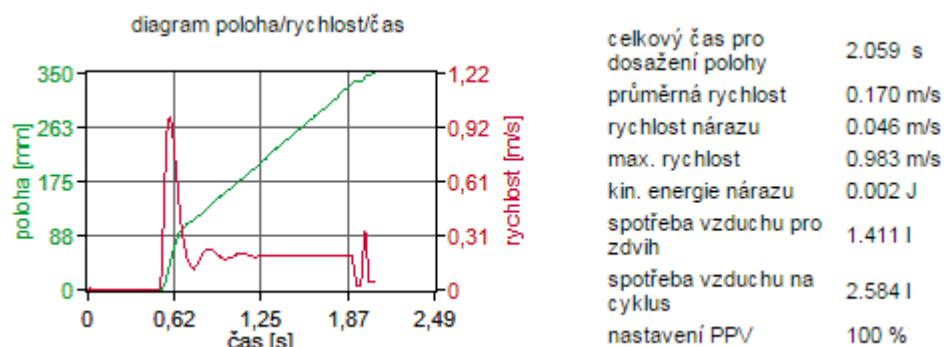
Přestože jednotlivé programy pracují na podobném principu, tak funkce a jejich možnosti se v některých případech mírně odlišují. Společnou část pro práci s každým z nich, tvoří zadání hlavních systémových parametrů, výběr typu motoru a zvolení průměru pístu. Dále je každý z nich schopen poskytnout zprávu ve formátu PDF s uvedenými výsledky testů a námi zvolenými parametry.

Pro ukázkou jednotlivých výpočetních programů, jsem uvažoval stejné podmínky jako v aplikaci uvedené v předchozí kapitole.

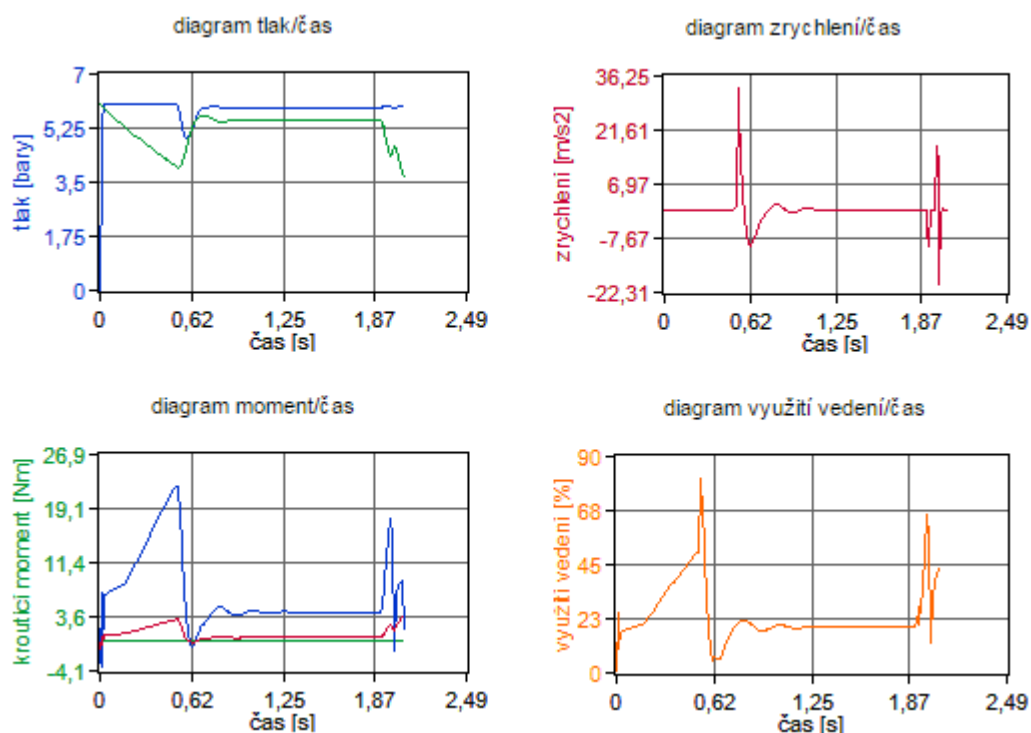
### 9.1.1 GSED

Program GSED je produktem společnosti Festo s.r.o. Jeho služeb je možné využívat zcela zdarma a bez jakékoli registrace či instalace, přímo na stránkách firmy. Tento software pracuje v mnoha jazycích včetně českého jazyka.

GSED je schopen nasimulovat pracovní cyklus motoru a vygenerovat tak řadu charakteristik (obr. 9.1 a obr. 9.2), pro námi zvolené systémové parametry (obr. 9.3). V případě nevyhovujících výsledků testu nás program sám upozorní na případné chyby a záležitosti, které je potřeba změnit. Poslední pracovní záložku tvoří kusovník, kde lze velice snadno vybrat prvky celého pneumatického obvodu, včetně jednosměrných škrtkových ventilů, tlumičů nárazů nebo tlumičů hluku a jiných.



Obr. 9.1 Výsledek simulace v programu GSED [15]



Obr. 9.2 Výsledek simulace v programu GSED [15]

očekáv. čas dosažení pozice		chtěl bych dosáhnout čas polohování:	2 s
základní nastavení válce	<input type="checkbox"/> s jednosměrným škrtkovým ventilem	požadovaný zdvih	350 mm
		osový úhel montáže	0 deg
		radiální úhel montáže	0 deg
		směr pohybu	<input checked="" type="radio"/> vyjetí <input type="radio"/> zajižďet
napájení vzduchem		provozní tlak	6 bar
nastavení zátěže	délka hadice	jedn. pro úpr. vzd. > ventil ventil > válec	5 m
			5 m
		pohybovaná hmotnost	1,77 kg
		přídavná síla nárazu	0 N
		přídavná třecí síla	29,43 N

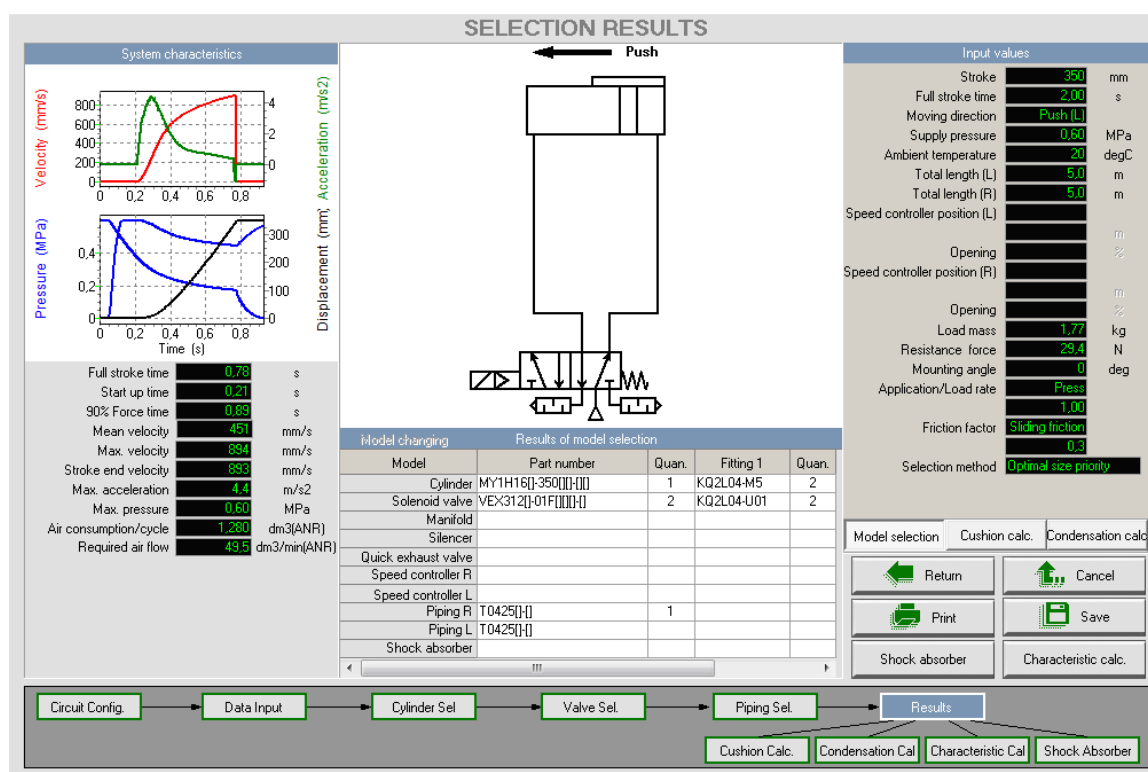
Obr. 9.3 Panel systémových parametrů v programu GSED [15]

### 9.1.2 Pneumatic model selection program

Tento software vyvinula firma SMC s.r.o. Program je zdarma dostupný na stránkách společnosti. Mírnou nevýhodou je, že program není k dostání v českém jazyce.

Práce s tímto programem je velice intuitivní a jednoduchá. Obrovskou předností je okamžitá změna schematického zobrazení pneumatického obvodu, při výběru jednotlivých prvků a možností jejich řízení. Zadáním systémových parametrů dojde k automatickému vyhodnocení, který z motorů je schopen zvládnout požadované zatížení. Dále je možné provést výpočet tlumení, kondenzační výpočet a zvolit tlumič nárazů.

Nevýhodu v jinak skvělém programu vidím ve faktu, že není možnost zadat velikost ramene působící síly. Program vůbec neuvažuje s momenty, které mohou v systému vznikat. Vezměme si tedy případ použití řešení v předchozí kapitole. Na (obr. 9.4) jsou zobrazeny hodnoty vztažené pro aplikaci na třídící lince (obr. 8.1). Po provedení ručního výpočtu je jasné, že motor *MY1H16* není schopen spolehlivého chodu, software ho však bez problému uznal za vhodný. Je tedy opravdu důležité brát výsledky těchto softwaru jen jako orientační.



Obr. 9.4 Výsledek simulace v programu Pneumatic model selection [9]

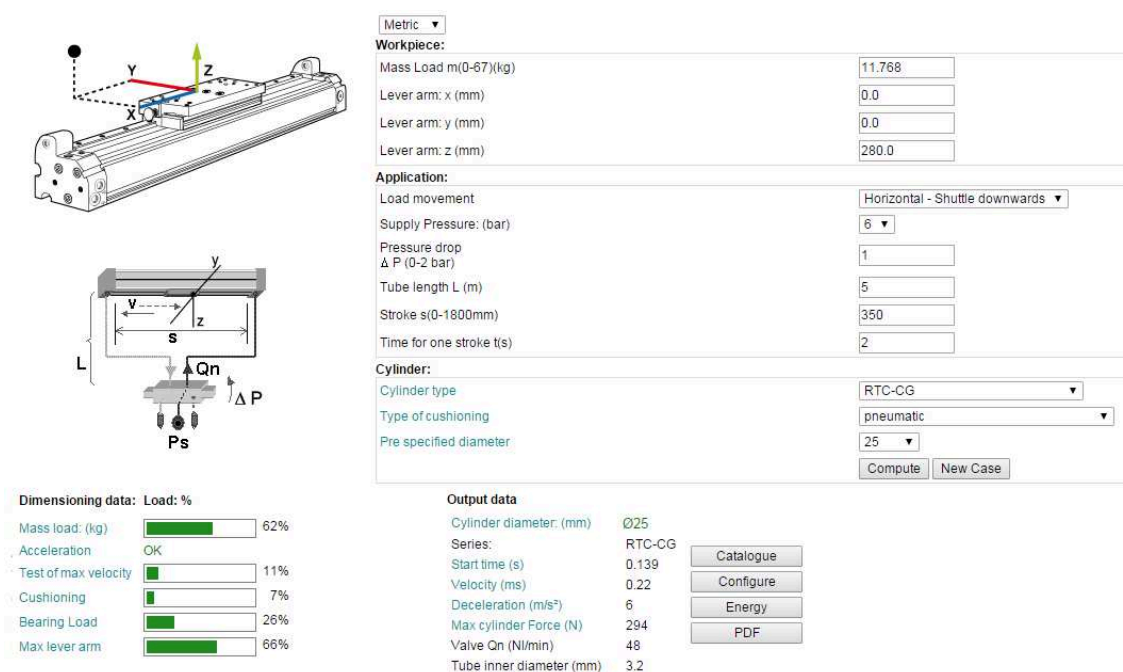
### 9.1.3 Aventics

Aventics je výpočetní program firmy Rexroth Pneumatics, dostupný na webových stránkách firmy. Program komunikuje pouze v anglickém jazyce.

Software je velice jednoduchý, poskytuje možnost výběru práce v metrických jednotkách nebo palcích. Jako jediný neposkytuje grafické vyobrazení systémových charakteristik, výsledkem simulace jsou však dimenzovaná data vyjádřená v procentech. Tento způsob lze považovat za velice přehledný a názorný. Dále jako jediný je program schopen uživateli poskytnout data ohledně roční spotřeby stlačeného vzduchu a jeho cenu vyjádřenou v eurech.

Program neposkytuje uživateli možnost zvolit způsob transportu tělesa nebo alespoň zadat třecí sílu. To může u některých aplikací, viz (obr. 8.1) způsobovat problémy, co vlastně do kolony *Mass Load* napsat.

Ukázka pracovního panelu spolu s výsledky simulace je vyobrazena na (obr. 9.5).



The screenshot displays the Aventics software interface. On the left, there is a 3D model of a pneumatic cylinder with a coordinate system (x, y, z) and a diagram of a lever arm mechanism. The main area contains input fields for various parameters, and the bottom section shows the results of the simulation.

**Input Parameters:**

- Workpiece:**
  - Mass Load  $m(0-67)(\text{kg})$ : 11.768
  - Lever arm: x (mm): 0.0
  - Lever arm: y (mm): 0.0
  - Lever arm: z (mm): 280.0
- Application:**
  - Load movement: Horizontal - Shuttle downwards
  - Supply Pressure (bar): 6
  - Pressure drop  $\Delta P(0-2 \text{ bar})$ : 1
  - Tube length L (m): 5
  - Stroke s(0-1800mm): 350
  - Time for one stroke t(s): 2
- Cylinder:**
  - Cylinder type: RTC-CG
  - Type of cushioning: pneumatic
  - Pre specified diameter: 25

**Buttons:** Compute, New Case, Catalogue, Configure, Energy, PDF

**Dimensioning data: Load: %**

Parameter	Value (%)
Mass load: (kg)	62%
Acceleration	OK
Test of max velocity	11%
Cushioning	7%
Bearing Load	26%
Max lever arm	66%

**Output data**

Parameter	Value
Cylinder diameter: (mm)	Ø25
Series:	RTC-CG
Start time (s)	0.139
Velocity (ms)	0.22
Deceleration (m/s <sup>2</sup> )	6
Max cylinder Force (N)	294
Valve Qn (Nl/min)	48
Tube inner diameter (mm)	3.2

Obr. 9.5 Pracovní panel s výsledky simulace v programu Aventics [26]

## 10 Závěr

Pneumatické mechanismy využívají pro transformaci energie a přenos informace mezi hnacím a hnaným členem vzdušiny, nejčastěji stlačeného vzduchu. Z hlediska přenosu energie jsou výstupním prvkem pneumatického obvodu pneumatické motory, které dále dělíme dle druhu vykonávaného pohybu. V případě lineárního pohybu jsou nejčastěji využívány pneumatické válce, které tvoří až 35 % z celého objemu vyráběného sortimentu pneumatické techniky. Pneumatické válce patří do kategorie objemových strojů, z čehož vyplývá, že tlaková energie stlačeného vzduchu se v nich transformuje na mechanickou práci. Dle konstrukčního provedení můžeme pneumatické válce rozdělit na motory s pístní tyčí a bez pístní tyče.

V rámci mé bakalářské práce jsem se zaměřil na pneumatické motory bez pístní tyče, neboli bezpístnicové motory, které jsou někdy označovány jako motory se speciální konstrukcí. Tyto motory jsou využívány především v aplikacích, kde jsou požadovány vysoké zdvihy v omezeném pracovním prostoru. Možnost vysokých zdvihů je zapříčiněna právě absencí pístní tyče, nepodrobují se tedy kontrole na vzpěr.

Rozlišujeme tři základní typy bezpístnicových motorů, mezi které patří motory s nosnou přírubou, motory s tažným prvkem a motory s magnetickým přenosem síly. Hlavní rozdíly mezi jednotlivými typy motorů jsou především v konstrukčním řešení a v přenosu pohybu pístu na unášecí prvek. Od těchto rozdílů se odvíjí i možnost použití bezpístnicových motorů. Například motory s magnetickým přenosem síly jsou často využívány ve velmi čistých provozech, z důvodu hermeticky uzavřeného pracovního prostoru motoru. Méně vhodné pro použití v takovýchto provozech jsou motory s nosnou přírubou, jejichž způsob spojení mezi unášecím prvkem a pístem je poněkud složitější a dochází k únikům vzdušiny. Jednu ze zvláštností skrývají i motory s tažným prvkem, u nichž smysl pohybu pístu není shodný se smyslem pohybu unášecího prvku. Zcela odlišnou vlastností se pyšní motory s magnetickým přenosem síly, které jako jediné dovolují přerušit spojení mezi pístem a unášecím prvkem, bez jakýchkoli známek poškození motoru.

Po seznámení se s jednotlivými typy bezpístnicových motorů, jsem se v další části práce věnoval návrhu bezpístnicového motoru pro konkrétní aplikaci třídícího systému pásového dopravníku. Nejprve jsem navrhnul tvar a rozměry třídící lopatky a následně jsem zhotovil 3D model celého zařízení. Dalším krokem bylo určení minimálního průměru pístu motoru, který je schopen dané zatížení zvládnout. Tento výpočet je potřeba brát



pouze jako informativní, jelikož nezahrnuje v systému vznikající moment. Dále jsem při návrhu bezpečnostního motoru postupoval dle výpočtu uvedeného v katalogu výrobce. Zvolený bezpečnostní motor MY1H25-350 s nosnou přírubou a kluzným vedením splňuje všechny podmínky zatížení a lze ho použít v dané aplikaci.

Součástí mé bakalářské práce byl také rozbor výpočetních programů výrobců bezpečnostních motorů, který je uveden v poslední kapitole. Rozbor byl proveden pro stejné podmínky, které byly stanoveny při návrhu bezpečnostního motoru třídícího systémů. Lze konstatovat, že všechny výše uvedené výpočetní programy rozhodně ulehčují práci při prvotním rozhodování, jaký typ a velikost motoru pro danou aplikaci zvolit. Je ovšem nezbytné, brát výsledky těchto softwaru pouze jako orientační a vše raději podložit vlastnoručně provedenými výpočty.

## 11 Seznam použité literatury

- [1] KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy DÍL I. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 2005 (Skriptum). 265 s. ISBN 80-7078-306-0.
- [2] KOPÁČEK, J.; ŽÁČEK, M. *Pneumatická zařízení strojů*. Ostrava: VŠB-TUO, 2003 (Skriptum). 94 s. ISBN 80-248-0442-5.
- [3] KOPÁČEK, J.; PAVLOK, B. *Tekutinné mechanismy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1994 (Skriptum). 156 s. ISBN 80-248-0586-0.
- [4] BEATER, P. *Pneumatic drives: system design, modeling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323 pp. ISBN 978-3-540-69470-0.
- [5] KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.
- [6] PROKEŠ, J.; VOSTROVSKÝ, J. *Hydraulické a pneumatické mechanismy*. SNTL, 1988. 276 s.
- [7] ZAVŘEL, J. *Efektivní provoz pneumatických systémů*. Časopis MM Průmyslové spektrum, 2009, č. 6. [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/efektivni-provoz-pneumatickych-systemu.html>
- [8] HORNÍČEK, T. *Hydraulické a pneumatické pohony ve strojírenství*. Časopis MM Průmyslové spektrum, 2014, č. 7. [cit. 2015-03-04]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/hydraulicke-a-pneumaticke-pohony-ve-strojirenstvi.html>
- [9] SMC. Model Selection Software. [online]. [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: <http://www.smcin.com/smc/page/model-selection-software>
- [10] Parker. Rodless Pneumatic Cylinders. Series 2002 & P120. [online]. [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: [http://www.parkeroriga.com/pdf\\_catalogs/parkeroriga\\_2002andP120.pdf](http://www.parkeroriga.com/pdf_catalogs/parkeroriga_2002andP120.pdf)
- [11] Festo. Přímočaré pohony DGC. [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: [http://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/DGC\\_CZ.PDF](http://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/DGC_CZ.PDF)

- [12] Airon. Magnetic coupling rodless cylinders. [online]. [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: [http://www.airon-pneumatic.com/images/stories/PDF/without\\_piston\\_rod\\_cylinders.pdf](http://www.airon-pneumatic.com/images/stories/PDF/without_piston_rod_cylinders.pdf)
- [13] SMC. Magnetically coupled rodless cylinder. CAT.ES20-172. [online]. [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: <http://content2.smccetech.com/pdf/CY3.pdf>
- [14] Hoerbiger – Origa I. Rodless cylinders. [online]. [cit. 2015-04-05]. Dostupné z: [http://www.haroldsimmonsindustrials.com/pdf/pneumatics/rodless\\_cylinders\\_2000\\_P120.pdf](http://www.haroldsimmonsindustrials.com/pdf/pneumatics/rodless_cylinders_2000_P120.pdf)
- [15] Festo. Přímocharé pohony. [online]. [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: [http://www.festo.com/cat/cs\\_cz/products\\_DGC](http://www.festo.com/cat/cs_cz/products_DGC)
- [16] Festo. Prvky pro tlumení. [online]. [cit. 2015-04-5]. Dostupné z: [http://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/SHOCK-ABSORBER\\_CZ.PDF](http://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/SHOCK-ABSORBER_CZ.PDF)
- [17] Greenco. Leaders in rodless cylinders. [online]. [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://www.greencocylinders.com/greenco-rodless-cylinders/applications>  
<http://www.greencocylinders.com/greenco-rodless-cylinders/products>
- [18] Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení. *Pneumatika*. [online]. [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <http://www.338.vsb.cz/PDF/13HYDRO-PNEU.pdf>
- [19] Parker. Rodless Pneumatic Cylinders. [online]. [cit. 2015-01-26]. Dostupné z: [http://www.aliexpress.com/price/rodless-cylinder\\_price.html](http://www.aliexpress.com/price/rodless-cylinder_price.html)
- [20] Google. Patents. [online]. [cit. 2015-03-09]. Dostupné z: <http://www.google.com/patents/EP0531131A1?cl=en>  
<http://www.google.com/patents/US7669515>
- [21] Festo. Linear drive DGC. [online]. [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: [http://www.festo.com/animationen/DGC\\_en/](http://www.festo.com/animationen/DGC_en/)
- [22] Hydraulics & pneumatics. Smooth travel, long life. [online]. [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: <http://hydraulicspneumatics.com/200/TechZone/Cylinders/Article/False/86831/TechZone-Cylinders>

- [23] SMC. Pneumatic Actuator Technology. [online]. [cit. 2015-04-05]. Dostupné z: [https://www.smc.eu/portal\\_ssl/WebContent/local/UK/Pneu\\_Book/Pneumatic\\_Actuators.jsp?box=box\\_basket\\_v2.jsp](https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/local/UK/Pneu_Book/Pneumatic_Actuators.jsp?box=box_basket_v2.jsp)
- [24] SMC. Mechanically Jointed Rodless Cylinder. Series MY1. [online]. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <https://content.smcetech.com/pdf/my1.pdf>
- [25] SMC. Mechanically Jointed Rodless Cylinder. Series MY1H. [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.smc-pneumatics.ie/pages/new-products/april-2012.php>
- [26] Rexroth Pneumatics. Aventics. Rodless calculation. [online]. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: [http://www.aventics.com/computation/rodless/rodless\\_compute.jsp?language=cz](http://www.aventics.com/computation/rodless/rodless_compute.jsp?language=cz)
- [27] Dotmar. Co-efficient of Friction of Plastics. [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://www.dotmar.com.au/co-efficient-of-friction.html>
- [28] MiSUMi. Linear Guides. [online]. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: [http://www.misumi-europe.com/files/misumi-europe/docs/technische-informationen/linearfuehrungen/07\\_EFA\\_2011\\_Volume\\_1.pdf](http://www.misumi-europe.com/files/misumi-europe/docs/technische-informationen/linearfuehrungen/07_EFA_2011_Volume_1.pdf)